

## Влияние интенсивности теплового потока на деформационно-прочностные свойства материалов спецодежды

В.И. Бешапошникова<sup>а</sup>, Х.А. Аль Кхдер, С.А. Вассоф, К.С. Гулина, П.С. Максимчук  
Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),  
Российская Федерация  
E-mail: <sup>а</sup>vibesvi@yandex.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования влияния теплового потока на свойства огнезащитных тканей спецодежды. Установлено, что разработанная модифицированная афламмита KWB ткань арт. 3137O3T, не уступает по устойчивости к воздействию теплового потока отечественным (ткань арт. 11475OP) и зарубежным (ткань BANOX 440) аналогам. Исследуемые ткани выдерживают плотность теплового потока до 40 кВт/см<sup>2</sup> в течение 1800 сек без существенной потери свойств. Повышение плотности теплового потока выше 40 кВт/см<sup>2</sup> приводит к значительному снижению разрывной нагрузки и разрывного удлинение, потере эластичности тканей и повышению жесткости при изгибе.

**Ключевые слова:** огнезащитная спецодежда, свойства, структура, ткани, тепловой поток.

## Influence of Heat Flow Intensity on Deformation and Strength Properties of Overalls Materials

V. Besshaposnikova<sup>a</sup>, H. Al Khder, S. Wassof, K. Gulina, P. Maksimchuk  
Russian State University named after A. N. Kosygin (Technology. Design. Art), Russian Federation  
E-mail: <sup>a</sup>vibesvi@yandex.ru

**Annotation.** The paper presents the results of the research of influence of heat flow on the properties of flame-retardant fabrics of working clothes. It has been established that the developed modified Aflammit KWB fabric art. 3137O3T, is not inferior to domestic (cloth item 11475OP) and foreign (cloth BANOX 440) analogues in resistance to heat flow. The fabrics withstands thermal flux density up to 40 kW/cm<sup>2</sup> during 1800 sec without significant loss of properties. Increasing the heat flux density above 40 kW/cm<sup>2</sup> leads to a significant decrease in the breaking load and breaking elongation, loss of elasticity of the fabrics and increased bending stiffness.

**Key words:** fireproof overalls, properties, structure, fabrics, heat flux.

Текстильные материалы спецодежды, предназначенной для защиты от воздействия высокотемпературных тепловых потоков, расплава металла и окалины, и других негативных производственных факторов, должны иметь высокие физико-механические и эксплуатационные показатели качества и надежности изделий, сохранять их в процессе эксплуатации. Поэтому при проектировании огнезащитной спецодежды важно знать кинетику изменения структуры и свойств текстильных материалов под воздействием температуры и теплового потока. Это позволит повысить безопасность человека в экстремальных условиях и определить срок эксплуатации одежды [1–3].

Испытания проводили как по стандартным мето-

дикам [4], так и по разработанной нами установке и методике определения устойчивости текстильных материалов и их систем к воздействию теплового потока разной плотности от 5 до 80 кВт/м<sup>2</sup> и выше [5–7]. Время воздействия теплового потока задавали с учетом данных определения темпа ( $m$ , сек), прохождения через материал или пакет одежды теплового потока, обеспечивающего подъем температуры пододежного пространства до критического значения – 37 °С. Стойкость текстильных материалов и пакетов одежды ( $C_T$ , %) к воздействию теплового потока определяли по изменению показателя физико-механических свойств до и после воздействия по формуле

$$C_T = 100 (A_1 - A_2) / A_1,$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – показатель свойства до и после воздействия высокой температуры соответственно.

Материал считается выдержавшим испытание, если снижение физико-механических показателей материала верха составило не более 50 % от первоначального значения, но не более 10 % от нормативного значения.

Объектами исследования выбраны ткани, предлагаемые на рынке текстиля для спецодежды сварщиков и металлургов: импортная ткань хлопчатобумажная BANOX 440, ткань отечественная огнезащитная льнохлопковая арт. 11475 ОП, и ткань арт. 3137ОЗТ огнезащитная афламмитом КWB в лаборатории кафедры материаловедения и товарной экспертизы

РГУ им. А.Н. Косыгина [7].

Испытание исследуемых огнезащитных тканей на определение показателей физико-механических свойств показало (табл. 1), что все ткани характеризуются высокими показателями прочности и устойчивости к истиранию по плоскости. Кислородный индекс превышает 27 % об., следовательно, все ткани относятся к категории трудновоспламеняемых материалов, и могут быть рекомендованы для изделий, эксплуатируемых в условиях высоких температур, брызг расплава металла и теплового потока. Испытания тканей на устойчивость к тепловому потоку начинали в самых экстремальных условиях, на расстоянии 50 мм от фронта пламени (горелки).

Таблица 1 – Показатели физико-механических свойств огнезащитных тканей

Обозначение образца	$\delta$ , м	$M_s$ , г/м <sup>2</sup>	КИ, % об.	Физико-механические свойства			
				$P_p$ , даН, основа/уток	$\ell_p$ , %, основа/уток	Жесткость при изгибе, мкН·см <sup>2</sup> , основа/уток	Истирание по плоскости, циклы
Ткань арт. 3137ОЗТ	0,0035	503	31,5	$\frac{126}{120}$	$\frac{9,5}{10,0}$	$\frac{20118}{19580}$	12885
BANOX 440	0,0039	440	32,7	$\frac{149}{136}$	$\frac{8,4}{9,0}$	$\frac{16452}{18340}$	18447
Ткань арт. 11475 ОП	0,0042	495	27,5	$\frac{125}{115}$	$\frac{7,6}{8,3}$	$\frac{18900}{20190}$	13524

Примечания:  $\delta$  – толщина материалов;  $M_s$  – поверхностная плотность;  $P_p$  – разрывная нагрузка;  $\ell_p$  – разрывное удлинение; КИ – кислородный индекс

Ткани подвергали воздействию теплового потока плотностью от 12 до 75 кВт/м<sup>2</sup> в течение 100–4000 сек. Исследование влияния теплового потока разной плотности на прочностные свойства показало, что при воздействии теплового потока плотностью до 28 кВт/м<sup>2</sup> в течение 100–250 секунд на всех исследуемых тканях наблюдается примерно одинаковое возрастание разрывной нагрузки на 2–4 % (рис. 1) при снижении удлинения на 8–10 %, по-видимому, за счет уплотнения ткани, в результате тепловой усадки. После чего структура стабилизируется, и прочностные свойства практически не изменяются. Интенсивное снижение разрывной нагрузки всех исследуемых тканей наблюдается после воздействия теплового потока плотностью 37–45 кВт/м<sup>2</sup> в течение 2000 сек, и ткани не выдерживают воздействие теплового потока плотности 75 кВт/м<sup>2</sup> более 100 сек. После 600 сек под воздействием теплового потока плотности 75 кВт/м<sup>2</sup> прочность и удлинение ткани снижается более чем на 50 %.

Снижение удлинения приводит к уменьшению эластичности и повышению жесткости тканей. При плотности теплового потока 12–37 кВт/м<sup>2</sup> (рис. 2 кр. 1–3) существенных изменений жесткости огнезащитных тканей не наблюдается. С повышением плотности теплового потока до 45 кВт/м<sup>2</sup> и более, жесткость тка-

ней резко возрастает. Чем больше плотность теплового потока, тем больше жесткость при изгибе. Все это свидетельствует о структурных изменениях нитей и ткани, обусловленных процессами дегидратации и началом деструкционных процессов, сопровождающихся уменьшением на 3–5 % массы проб тканей после

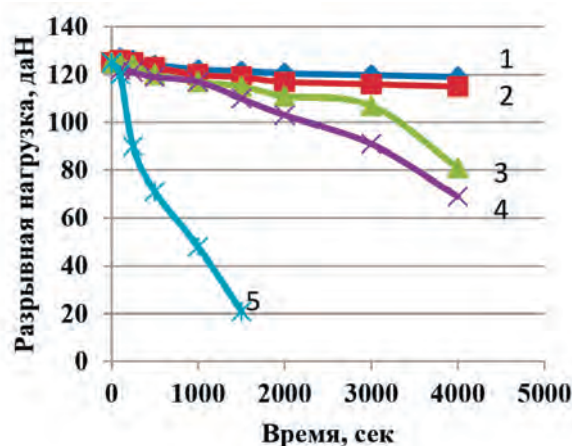


Рисунок 1 – Изменение разрывной нагрузки ткани арт. 3137ОЗТ от продолжительности воздействия теплового потока плотности, кВт/м<sup>2</sup>: 1 – 12; 2 – 28; 3 – 37; 4 – 45 и 5 – 75 (коэффициент вариации ~ 4,0%)

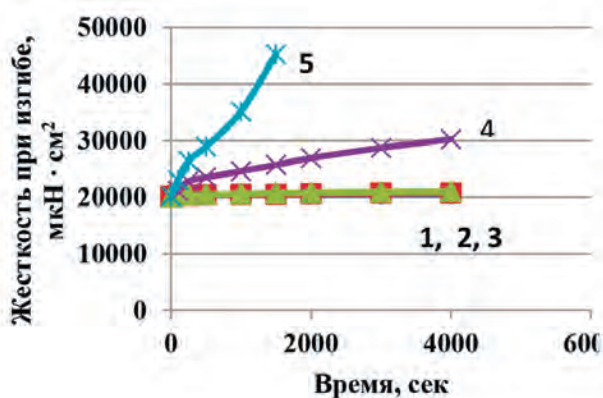


Рисунок 2 – Изменение жесткости при изгибе ткани арт. 313703Т под воздействия теплового потока плотности, кВт/м<sup>2</sup>:

1 – 12; 2 – 28; 3 – 37; 4 – 45; 5 – 75.

Данные по основе, по утку аналогичная закономерность

воздействия теплового потока более 40 кВт/см<sup>2</sup>. Усадка тканей с увеличением плотности теплового потока возросла с 1,78 до 3,3 %. При этом внешние изменения поверхности тканей выражались в появлении цветных пятен и легком пожелтении.

Отмечено, что ткань арт. 313703Т, модифицированная по разработанному способу огнезащиты с применением афламита KWB [7], не уступает по устойчивости к воздействию теплового потока отечественным (ткань арт. 114750П) и зарубежным (ткань BANOX 440) аналогам. Аналогичная зависимость на тканях BANOX 440 и льнохлопковой арт. 114750П.

Исследование деформационных свойств при одноцикловом растяжении (табл. 2) позволяет оценить изменение эластичности материалов и определить процесс накопления пластических деформаций в разных направлениях приложения нагрузки. Испытания проводили по разработанной методике [8].

Таблица 2 – Составные части полной деформации огнезащищенных тканей

Наименование и обозначение полотен	Направление приложения нагрузки	Относительная деформация и ее составные части, %.			
		До воздействия/после воздействия теплового потока плотностью 40 кВт/м <sup>2</sup>			
		$\epsilon_y$	$\epsilon_s$	$\epsilon_n$	$\epsilon_{пол}$
Ткань BANOX 440 (100 % Хл)	Основа	1/0	0/0	0/3	1/3
	Уток	13/0	0/0	3/8	16/8
	Угол 45 °	10/2	17/1	2/11	29/14
Ткань арт. 11475 ОП (50 % Лён, 50 % Хл)	Основа	3/0	0/0	0/4	3/4
	Уток	11/2	6/1	3/9	20/12
	Угол 45 °	8/3	18/1	3/11	29/15
Ткань арт. 313703Т (100 % Хл)	Основа	3/0	2,1/0	0/2,8	5,1/2,8
	Уток	4,1/0	2,1/0	1/3,9	7,2/3,9
	Угол 45 °	16,3/4,2	5,1/1,4	4,1/7,4	25,5/13,0

Результаты исследований показали, что с увеличением плотности теплового потока до 40 кВт/см<sup>2</sup> и при постоянном времени воздействия теплового излучения, величина обратимых упругой и эластической деформаций тканей стремиться к нулю, независимо от направления приложения растягивающего усилия. В то время как величина остаточной пластической деформации незначительно возрастает. Уменьшение полной деформации обусловлено потерей эластичности волокнами под воздействием теплового потока.

Таким образом, в результате проведенных исследо-

ваний установлено, что ткань арт. 313703Т модифицированная афламита KWB, не уступает по устойчивости к воздействию теплового потока промышленным отечественным (ткань арт. 114750П) и зарубежным (ткань BANOX 440) аналогам. Исследуемые ткани выдерживают плотность теплового потока до 40 кВт/см<sup>2</sup> в течение 1800 сек без существенной потери свойств. Повышение плотности теплового потока выше 40 кВт/см<sup>2</sup> приводит к значительному снижению разрывной нагрузки и разрывного удлинения, потере эластичности тканей и повышению жесткости при изгибе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бешпапошникова, В. И. Научные основы и инновационные технологии огнезащиты текстильных материалов : монография / В. И. Бешпапошникова. – Москва, 2018. – 188 с.
2. Самохвалов, Е. Вопросы огнезащиты текстильных материалов / Е. Самохвалов // F+S: технологии без-

опасности и противопожарной защиты. – 2011. – № 5 (53). – С. 80–84.

3. Бесшапошникова, В. И. Научные основы проектирования материалов и изделий специального назначения : монография / В. И. Бесшапошникова, Н. Е. Ковалева, Е. А. Логинова. – М. : ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2022. – 207 с.

4. ГОСТ Р ИСО 6942-2007. Одежда для защиты от тепла и огня. Методы оценки материалов и пакетов материалов, подвергаемых источнику воздействия теплового излучения. – М. : Стандартинформ, 2007. – 16 с.

5. Бесшапошникова, В. И. Разработка установки для определения огнезащитных свойств текстильных материалов / В. И. Бесшапошникова, К. И. Пулина, Т. В. Куликова, М. В. Загоруйко // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – № 5. – 2012. – С. 19–22.

6. Бесшапошникова, В. И. Разработка методики определения устойчивости композиционных текстильных материалов к воздействию теплового потока / В. И. Бесшапошникова, М. В. Загоруйко, Т. В. Александрова и др. // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – № 2(344). – 2013. – С. 23–25.

7. Besshaposhnikova, V. I. Influence of Aflammit KWB on the Process of Pyrolysis and the Properties of Cellulose Fabrics / V. I. Besshaposhnikova, O. N. Mikryukova, L. S. Gal'braikh // Fibre Chemistry, November 2017, Volume 49, Issue 4, pp. 246–250.

8. Бесшапошникова, В. И. Совершенствование метода исследования текстильных материалов при одноцикловом растяжении / В. И. Бесшапошникова, Е. В. Жилина, И. Н. Жагрина, Л. А. Ульвачева // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – №2(356), 2015. – С. 19–23.

## REFERENCES

1. Besshaposhnikova, V. I. Scientific foundations and innovative technologies for fire protection of textile materials: monograph / V. I. Besshaposhnikova. – Moscow, 2018. – 188 p.

2. Samokhvalov, E. Questions of fire protection of textile materials / E. Samokhvalov // F + S: safety and fire protection technologies. – 2011. – № 5 (53). – FROM. 80–84.

3. Besshaposhnikova, V. I. Scientific basis for the design of materials and products for special purposes: monograph / V. I. Besshaposhnikova, N. E. Kovaleva, E. A. Loginova. – M. A.N. Kosygin", 2022. – 207 p.

4. GOST R ISO 6942-2007. Clothing for protection against heat and fire. Methods for evaluating materials and packages of materials exposed to a source of exposure to thermal radiation. - M. : Standartinform, 2007. - 16 p.

5. Besshaposhnikova, V. I. Development of an installation for determining the fire-retardant properties of textile materials / V. I. Besshaposhnikova, K. I. Pulina, T. V. Kulikova, M. V. Zagoruiko // Proceedings of universities. Technology of the textile industry. – № 5. – 2012. – P. 19–22.

6. Besshaposhnikova, V.I. . Development of a methodology for determining the stability of composite textile materials to the effects of heat flow / V. I. Besshaposhnikova, M. V. Zagoruiko, T. V. Aleksandrova et al. // Izvestiya Vuzov. Technology of the textile industry. – № 2 (344). – 2013. – P. 23–25.

7. Besshaposhnikova, V. I. Influence of Aflammit KWB on the Process of Pyrolysis and the Properties of Cellulose Fabrics / V. I. Besshaposhnikova, O. N. Mikryukova, L. S. Gal'braikh // Fiber Chemistry, November 2017, Volume 49, Issue 4, pp. 246–250.

8. Besshaposhnikova, V. I. Improvement of the method of studying textile materials under single-cycle tension / V.I. Besshaposhnikova, E. V. Zhilina, I. N. Zhagrina, L. A. Ulvachev // News of universities. Technology of the textile industry. – № 2 (356), 2015. – P. 19–23.

## SPISOK LITERATURY

1. Besshaposhnikova, V. I. Nauchnyye osnovy i innovatsionnyye tekhnologii ognезashchity tekstil'nykh materialov : monografiya / V. I. Besshaposhnikova. – Moskva, 2018. – 188 s.

2. Samokhvalov, Ye. Voprosy ognезashchity tekstil'nykh materialov / Ye. Samokhvalov // F+S: tekhnologii bezopasnosti i protivopozharnoy zashchity. – 2011. – № 5 (53). – S. 80–84.

3. Besshaposhnikova, V. I. Nauchnyye osnovy proyektirovaniya materialov i izdeliy spetsial'nogo naznacheniya : monografiya / V. I. Besshaposhnikova, N. Ye. Kovaleva, Ye. A. Loginova. – M. : FGBOU VO «RГУ im. A.N. Kosygina», 2022. – 207 s.

4. GOST R ISO 6942-2007. Odezhda dlya zashchity ot tepla i ognya. Metody otsenki materialov i paketov materialov, podvergayemykh istochniku vozdeystviya teplovogo izlucheniya. – M. : Standartinform, 2007. – 16 s.

5. Besshaposhnikova, V. I. Razrabotka ustanovki dlya opredeleniya ognезashchitnykh svoystv tekstil'nykh materialov / V. I. Besshaposhnikova, K. I. Pulina, T. V. Kulikova, M. V. Zagoruiko // Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – № 5. – 2012. – S. 19–22.

6. Besshaposhnikova, V.I. Razrabotka metodiki opredeleniya ustoychivosti kompozitsionnykh tekstil'nykh materialov k vozdeystviyu teplovogo potoka / V.I. Besshaposhnikova, M.V. Zagoruiko, T.V. Aleksandrova i dr. // Izvestiya

---

VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – № 2(344). – 2013. – S. 23–25.

7. Besshaposhnikova, V. I. Influence of Aflammit KWB on the Process of Pyrolysis and the Properties of Cellulose Fabrics / V. I. Besshaposhnikova, O. N. Mikryukova, L. S. Gal'braikh // Fibre Chemistry, November 2017, Volume 49, Issue 4, pp. 246–250.

8. Besshaposhnikova, V. I. Sovershenstvovaniye metoda issledovaniya tekstil'nykh materialov pri odnotsiklovom rastyazhenii / V. I. Besshaposhnikova, Ye. V. Zhilina, I. N. Zhagrina, L. A. Ul'vacheva // Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – №2(356), 2015. – S. 19–23.

Статья поступила в редакцию 20.12.2023.