

Исследование свойств текстильных материалов для защиты от термического воздействия электрической дуги

Ю. С. Шустов^{*1}, Ж. С. Пушкина^{*}

** Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

Аннотация

Вопросам разработки защитной одежды с каждым годом уделяется всё большее внимание, особенно если это связано с изготовлением рабочей одежды для защиты от термических воздействий. От качества материалов, из которых выполнена специальная одежда, во многом зависят защитные функции спецодежды, а значит и здоровье окружающих. В качестве объектов исследования были взяты 3 образца тканей различного волокнистого состава. В работе приведены сравнительные характеристики физико-механических свойств рассматриваемых тканей. Уровень защиты определяется максимальным значением падающей энергией теплового потока электрической энергии, при котором защитная одежда способна предохранять пользователя от ожогов 2 степени. Рассмотрены уровни защиты верха одежды, а также рассмотрены различные виды многослойных пакетов материалов. В результате исследования выявлены пакеты материалов, соответствующие требованиям стойкости к конвективному теплу.

Ключевые слова

Специальная одежда, воздействие электрической дуги, стирка, эксплуатация

Введение

В настоящее время рынок специальной одежды развивается достаточно динамично. Спецодежда включает: ведомственную, рабочую, защитную, корпоративную и др. Развитие происходит за счет того, что специалисты различных профессий испытывают потребность в использовании данного вида продукции.

Несмотря то что на рынке представлено достаточно большое количество разнообразных средств индивидуальной защиты, российские и иностранные компании все равно продолжают расширять

свой ассортимент, проектировать и создавать новые ткани со специальными свойствами.

От материала, выбранного для изготовления профессиональной одежды, во многом зависят ее специальные функции. При проектировании спецодежды также необходимо учитывать, что в процессе эксплуатации специальной одежды на нее одновременно действуют сразу несколько негативных составляющих окружающей среды, что делает создание универсальной спецодежды достаточно сложной задачей [1–5].

¹ Для переписки:

Email: shustov-yus@rguk.ru

В работе основной акцент был сделан на материалы для рабочей одежды для защиты от термических воздействий. Исходя из вышеизложенного, в качестве объектов исследования использовались ткани различного волокнистого состава и различных производителей. Данные ткани были выбраны для проведения испытаний, так как они являются наиболее распространенными и часто используемыми для электротехнических работ, что было подтверждено экспертным опросом, проведенным на строительных предприятиях. Было выбрано 3 вида тканей саржевого переплетения, представленных в таблице 1 [6].

Для производителей специальной одежды является важным обеспечение должного качества продукции, высоких защитных, эксплуатационных, технических и гигиенических свойств.

От качества материалов, из которых выполнена специальная одежда, во многом зависят защитные функции спецодежды, а значит и здоровье работающих. Требования к качеству материалов для изготовления специальной одежды для защиты от термических рисков электрической дуги регламентируются рядом нормативных документов.

Значимыми показателями качества, оказывающими наибольшее влияние на качество материалов, являются стойкость к термическому воздействию электрической дуги, поверхностная плотность, огнестойкость в течение 30 с, термостойкость при температуре 260 °С, сырьевой состав.

В таблице 2 приведены результаты сравнения испытаний верха в исходном виде, используемых для изготовления специальных костюмов для защиты от термических рисков электрической дуги. В перечень испытаний также вошли наиболее значимые показатели качества [7].

Уровень защиты однослойного костюма для защиты от воздействия электрической дуги из натурального материала незначительно выше. Костюмы из синтетических волокон более легкие. Оба материала впитывают влагу, поэтому костюмы, изготавливаемые из них, должны эксплуатироваться поверх гигроскопичного белья. Физико-механические показатели (стойкость к истиранию, разрывная и раздирающая нагрузка) ткани натурального материала несколько меньше, чем аналогичные показатели синтетического.

Таблица 1 — Объекты исследования

№	Название	Состав	Страна-производитель
1	Ткань верха «БиО-Терм®»	90% хлопок, 10% ПА, в т.ч. антистатическая нить	«Чайковский текстиль», Россия
2	Ткань верха «Номекс® Комфорт»	98% арамид, 2% антистатическое волокно	Германия
3	Ткань верха «ПРОтерм® 180»	98% арамид, 2% антистатическое волокно	«Чайковский текстиль», Россия

Таблица 2 — Структурные характеристики исследуемых тканей верха в исходном виде

Наименование показателей	Наименование ткани		
	БиОТерм®	Номекс® Комфорт	ПРОТерм®
Поверхностная плотность ткани, г/м ²	297	215	189
Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² с	49.0	50.1	144.2
Гигроскопичность, %	17.5	5.5	7.3
Стойкость к истиранию, циклы, не менее 350	7910	6350	9460
Разрывная нагрузка (основа/уток), Н	1045/820	1430/1020	1480/1000
Раздирающая нагрузка (основа/уток), Н	41/45	64/53	137/132
Огнестойкость в течении 30 сек	Не горит, не тлеет и не расплавляется при выносе из пламени. Отсутствует остаточное горение и тление.		
Термостойкость Температура 260°С	не воспламеняется, не плавится Усадка, % -основа 0 -уток 0		

Уровень защиты — величина, определяющая максимальное значение падающей энергии теплового потока электрической энергии, при котором защитная специальная одежда способна предохранять пользователя от ожогов 2 степени, выраженная в кал/см² (кал/см²=41.868 кВт·с/м или 1 кДж/м = 0.023885 кал/см²).

Основным показателем защитных свойств комплекта от термического воздействия электрической дуги является способность ослаблять тепловое воздействие электрической дуги на кожу человека до уровня, который не сможет вызвать тяжелые ожоговые травмы. Этот показатель устанавливается экспериментально на основании результатов испытаний, проходящих в соответствии с требованиями методики МЭК(IEC) 61482.1 в

аккредитованных лабораториях на специальной установке Arc-Man®.

В основе методики лежат подтвержденные мировым научным сообществом экспериментальные данные (эталонная кривая Столл), которые определяют предел физиологических способностей кожи человека противостоять воздействию теплового излучения до возникновения ожогов II степени. Кривая задает предельные значения скорости изменения температуры на поверхности кожи человека, которые не приведут к возникновению ожогов.

Во время воздействия электрической дуги специальные калориметрические датчики измеряют температуру на поверхности манекена под одеждой. Полученные данные сравниваются со значением эталонной кривой Столл, обозначающей физиологический предел кожи человека,

после которого возникает ожог II степени (рисунок 1). Если показания датчиков оказались выше кривой Столл, значит, у человека появился ожог II или III степени, что представляет опасность для его жизни. Если же данные расположились ниже – защитный комплект ослабил тепловое воздействие электрической дуги на кожу человека до уровня, который не может вызвать тяжелые ожоговые травмы.



Рисунок 1 — Кривая роста температуры датчика в зависимости от времени

При проведении испытаний на стойкость к термическому воздействию электрической дуги термостойкая одежда должна быть подвергнута 5 и 50 циклам стирок. После испытаний термостойкая спецодежда должна сохранять функциональность застежки, не вскрываться, не воспламеняться и не плавиться. При этом значение ЗЭТВ не должно снижаться более чем на 5%.

Материал или пакеты материалов, предназначенные для изготовления термостойкой спецодежды, испытывают на стойкость к конвективному теплу (показатель передачи конвективного тепла должен быть не менее 3 секунд при прохождении теплового потока плотностью 80 кВт/м) и тепловому излучению (индекс передачи теплового излучения должен быть не менее 8 секунд при прохождении теплового потока плотностью 20 кВт/м)

после 5 и 50 стирок/химчисток, при этом эксплуатационные уровни должны быть не ниже В1 и С1 по ГОСТ Р ИСО 11612 (таблицы 3, 4).

Таблица 3 — Уровни защиты: испытание на конвективную теплопередачу

Уровень защиты	Показатель передачи тепла НТИ* 24 с	
	не менее	менее
В1	4.0	10.0
В2	10.0	20.0
В3	20.0	

* Индекс конвективной теплопередачи, определенный по ISO 9151

Таблица 4 — Уровни защиты: испытание на тепловое излучение

Уровень защиты	Показатель передачи тепла RHTI* 24 с	
	не менее	менее
С1	7.0	20.0
С2	20.0	50.0
С3	50.0	95.0
С4	95.0	

* Индекс передачи теплового излучения, определенный по ИСО 6942

Термостойкая спецодежда может быть изготовлена из одного или нескольких слоев материала с постоянными термостойкими свойствами. Результаты испытаний однослойного, двухслойного и многослойных пакетов материалов приведены в таблицах 5, 6.

Как видно из таблиц 5 и 6, эффективность многослойной защиты не соответствует арифметической сумме защитных свойств каждого слоя. Например, один из видов защитной ткани имеет порог защиты 15.0 кал/см², а двойной слой этой же ткани — 42.6 кал/см².

Таблица 5 — Уровни защиты тканей верха «БиОТерм®» (1), «Номекс® Комфорт» (2), «ПРОтерм® 180» (3)

	1	2	3
Уровень защиты ЗЭТВ, кал/см ² <i>После 5 стирок/ После 50 стирок</i>	15.0 / 15.8	13.9/13.6	19.4/18.6
Показатель передачи конвективного тепла, с Плотность теплового потока — 80 кВт/м ² <i>После 5 стирок/ После 50 стирок</i>	11.0/11.5	8.7/9.8	8.7/9.2
Уровни защиты: испытание на конвективную теплопередачу	B2	B1	B1
Индекс передачи теплового излучения, с Плотность теплового потока — 20 кВт/м ² <i>После 5 стирок/ После 50 стирок</i>	19.6/20.3	14.4/16.0	22.5/22.1
Уровни защиты: испытание на тепловое излучение	C1	C1	C2

Таблица 6 — Уровни защиты тканей верха «БиОТерм®» (1), «Номекс® Комфорт» (2), «ПРОтерм® 180» (3) в 2 слоя

	1 — 2 слоя	2 — 2 слоя	3 — 2 слоя
Уровень защиты ЗЭТВ, кал/см ² <i>После 5 стирок/ После 50 стирок</i>	42.6/44.9	34.1/36.0	32.9/34.3
Показатель передачи конвективного тепла, с Плотность теплового потока — 80 кВт/м ² <i>После 5 стирок/ После 50 стирок</i>	15.9/16.7	15.9/16.1	15.6/16.3
Уровни защиты: испытание на конвективную теплопередачу	B2	B2	B2
Индекс передачи теплового излучения, с Плотность теплового потока — 20 кВт/м ² <i>После 5 стирок/ После 50 стирок</i>	28.4/29.4	22.7/22.9	27.7/29.1
Уровни защиты: испытание на тепловое излучение	C2	C2	C2

С увеличением количества материалов, входящих в пакет для изготовления специальной одежды для защиты от термических рисков электрической дуги, увеличивается уровень защиты ЗЭТВ, что позволяет подбирать комплект для эксплуатации электрооборудования и электроустановок с различными параметрами

(например, сила тока короткого замыкания, напряжение, время воздействия дуги, расстояние до источника дуги, расстояние между токоведущими частями).

В результате определения стойкости к конвективному теплу и тепловому излучению пакетов материалов было выявлено, что все пакеты материалов соответствуют

требованиям в части их эксплуатационного уровня (не ниже В1 и С1) и сохраняют его после лабораторного износа.

Заключение

1. Все исследуемые материалы (ткани верха, утеплители и ткани подкладочные) не теряют устойчивость к открытому пламени и сохраняют термостойкие свойства при температуре 180 °С и 260 °С, после всех циклов лабораторного износа материалы не горят, не тлеют и не расплавляются, остаточное горение и тление отсутствует.

2. Стойкость к воздействию электрической дуги после лабораторного износа сохраняется, изменения происходят в пределах допустимых значений.

3. В результате определения стойкости к конвективному теплу и тепловому излучению пакетов материалов было выявлено, что все пакеты материалов соответствуют требованиям в части их эксплуатационного уровня (не ниже В1 и С1)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ) № 30593; Введ. с 04.08.2014 г. Москва: Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти № 5 от 03.02.2014 г., 2013, 125 с.

[2]. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Издательство Знак, 2000, 235 с.

[3]. ТР ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты. Москва: [б. и.], 2011, 108 с.

[4]. ГОСТ Р 12.4.234-2012. ССБТ. Одежда специальная для защиты от термических рисков электрической дуги. Общие технические требования и методы испытаний. Взамен ГОСТ Р 12.4.234-2007; Введ. с 01.12.2013 г. Москва: Стандартинформ, 2012, 69 с.

[5]. Пушкина Ж. С., Шустов Ю. С. Одежда для защиты от электрической дуги. Условия и требования. *Сборник научных трудов, посвященный 75-летию кафедры Материаловедения и товарной экспертизы*. М.: РГУ им. А. Н. Косыгина, 2019, с.67–71

[6]. Пушкина Ж. С. Специальная одежда для защиты от термического воздействия электрической дуги. *Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Международной научной студенческой конференции*. Ч. 2, 2019, с. 64–67.

[7]. Пушкина Ж. С., Шустов Ю. С. Сравнение текстильных материалов, используемых для защиты от термических рисков электрической дуги. *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, посвященной Юбилейному году в ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина»*. Ч. 3, 2020, с. 138–140.

Шустов Юрий Степанович — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой материаловедения и товарной экспертизы, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1)

Пушкина Жанна Сергеевна — аспирант, кафедра материаловедения и товарной экспертизы, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1)

Investigation of the properties of textile materials for protection from the thermal effects of an electric arc

Yu. S. Shustov^{*,1}, Zh. S. Pushkina^{*}

** The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia*

Abstract

Every year more and more attention is paid to the development of protective clothing, especially if it is connected with the manufacture of work clothing for protection against thermal effects. The protective functions of overalls, and hence the health of others, largely depend on the quality of the materials from which special clothing is made. As objects of study, 3 tissue samples of different fibrous composition were taken. The paper presents comparative characteristics of the physical and mechanical properties of the tissues under consideration. The level of protection is determined by the maximum value of the incident energy of the heat flow of electrical energy, at which protective clothing is able to protect the user from burns of the 2nd degree. The levels of protection of the top of the protection of the top of the clothing are considered, as well as various types of multilayer packages of materials are considered. As a result of the study, packages of materials were identified that meet the requirements for resistance to convective heat.

Keywords

Special clothing, electric arc exposure, washing, operation.

REFERENCES

- [1]. Pravila po okhrane truda pri ekspluatatsii elektroustanovok (POTEE) [Rules on labor protection during the operation of electrical installations] No. 30593; Introduction from 08/04/2014. Moscow: Bulletin of normative acts of federal executive authorities No. 5 dated 02/03/2014, 2013, 125 p. (In Russ.)
- [2]. Dolin P. A. Osnovy tekhniki bezopasnosti v elektroustanovkakh Fundamentals of safety in electrical installations. Moscow, Znak Publishing House, 2000, 235 p. (In Russ.)
- [3]. TR CU 019/2011. O bezopasnosti sredstv individual'noy zashchity [On the safety of personal protective equipment]. Moscow, 2011, 108 p. (In Russ.)
- [4]. GOST R 12.4.234-2012. SSBT. Odezhda spetsial'naya dlya zashchity ot termicheskikh riskov elektricheskoy dugi. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya i metody ispytaniy [Special clothing for protection against thermal risks of an electric arc. General technical requirements and test methods]; Introduction from December 1, 2013, Moscow: Standartinform Publ., 2012, 69 p. (In Russ.)

¹ *Corresponding author:*
Email: shustov-yus@rguk.ru

[5]. Pushkina Zh. S., Shustov Yu. S. Odezhda dlya zashchity ot elektricheskoy dugi. Usloviya i trebovaniya [Clothing for protection against electric arcs. Conditions and requirements]. *Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchenny 75-letiyu kafedry Materialovedeniya i tovarnoy ekspertizy* [Collection of scientific papers dedicated to the 75th anniversary of the Department of Materials Science and Commodity Expertise], Moscow, 2019, pp. 67–71. (In Russ.)

[6]. Pushkina Zh. S. Spetsial'naya odezhda dlya zashchity ot termicheskogo vozdeystviya elektricheskoy dugi [Special clothing for protection against thermal effects of an electric arc] Innovatsionnoye razvitiye legkoy i tekstil'noy promyshlennosti: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy studentcheskoy konferentsii. Ch. 2 [Innovative development of light and textile industry: collection of materials of the International Scientific Student Conference. P. 2]. Moscow, 2019, pp. 64–67. (In Russ.)

[7]. Pushkina Zh. S., Shustov Yu. S. Sravneniye tekstil'nykh materialov, ispol'zuyemykh dlya zashchity ot termicheskikh riskov elektricheskoy dugi [Comparison of textile materials used to protect against thermal risks of an electric arc]. Innovatsionnoye razvitiye tekhniki i tekhnologiy v promyshlennosti: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh issledovateley s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchenny Yubileynomu godu v FGBOU VO «RGU im. A. N. Kosygina». Ch. 3 [Innovative development of equipment and technologies in industry: collection of materials of the All-Russian Scientific Conference of Young Researchers with International Participation, dedicated to the Anniversary Year at the Russian State University A.N. Kosygin. P. 3], Moscow, 2020, pp. 138–140 (In Russ.)

Shustov Yu. S. — Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Materials Science and Commodity Expertise, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Pushkina Zh. S. — Postgraduate student, Department of Materials Science and Commodity Expertise, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

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

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-2(9)-43-50

Please cite this article as:

Shustov Yu. S., Pushkina Zh. S. Investigation of the properties of textile materials for protection from the thermal effects of an electric arc. *Industrial processes and Technologies*, 2023, vol. 3, no. 2(9), pp. 43 – 50.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-2(9)-43-50