

**ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

**HEAT TRANSFER INDEX CHANGE
DEPENDING ON THE INTENSITY OF A HEAT FLOW**

А. Н. ПЕТУХОВ, А. Ф. ДАВЫДОВ, Е. Б. ДЕМОКРАТОВА, Г. М. ЧЕРНЫШЕВА
A. N. PETUKHOV, A. F. DAVYDOV, E. B. DEMOKRATOVA, G. M. CHERNYSHEVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: MadAlexeZ@mail.ru

Для предотвращения нанесения вреда здоровью работника используется специальная одежда. Специальная одежда может быть изготовлена из тканей различного сырьевого состава. В работе проведены исследования по определению коэффициента теплопередачи $TF (Q_0)$ и индекса передачи теплового излучения $RHTI (Q_0)$ под действием теплового потока интенсивностью 20, 40, 60 и 80 кВт/м² для пяти тканей различного сырьевого состава. Построена гистограмма индекса передачи теплового излучения.

Special clothing is used to prevent harm to the health of the employee. Special clothing can be produced from fabrics of various raw materials. In this work, research has been carried out to determine the heat transfer coefficient $TF (Q_0)$ and the heat transfer index $RHTI (Q_0)$ under the action of a heat flow with an intensity of 20, 40, 60 and 80 kW/m², for five fabrics of different raw materials. The histogram of the heat transfer index is plotted.

Ключевые слова: специальная одежда, ткани, теплопередача, тепловое излучение, метод испытаний.

Keywords: special clothing, fabrics, heat transfer, heat radiation, test method.

В процессе трудовой деятельности работник подвергается рискам нанесения вреда здоровью. К вредным и опасным факторам относят: механические воздействия, повышенные и пониженные температуры, радиоактивные и рентгеновские излучения, электрический ток, электростатические заряды и поля, электрические и электромагнитные поля, нетоксичную пыль, токсичные вещества, воду и растворы нетоксичных веществ, растворы кислот, щелочей, нефть, нефтепродукты, масла и жиры, вредные биологические факторы.

Специальная одежда предназначена для защиты работника от данных рисков. В Российской Федерации на каждый отдельный фактор риска действует отдельный ГОСТ. Также для многих профессий действуют отдельные ГОСТ, регламентирующие конкретные требования для соответствующей профессии. На территории России и странах Таможенного союза Евразийского экономического союза (ТС ЕАЭС) основные требования представлены в Технических регламентах, основным из них является ТР ТС 019/2011 [1]. Требования дан-

ного Технического регламента являются обязательными к соблюдению.

Классификация специальной одежды происходит по ГОСТ 12.4.103–83 [2]. В соответствии с данным стандартом на специальную одежду наносится маркировка в виде эмблемы на верхнюю часть левого рукава или на нагрудном кармане. Эмблема представляет собой цветной графический знак размером (6,2 x 8,0) см с буквенными обозначениями защитных свойств. Прописная буква обозначает наименование защитной группы, строчная – подгруппу. Для специальной одежды и средств защиты рук, группа "От повышенных температур" состоит из следующих подгрупп.

- Обусловленных климатом (Тк) (только для специальной одежды);
- от теплового излучения (Ти);
- от открытого пламени (То);
- от искр, брызг расплавленного металла, окалины (Тр);
- от контакта с нагретыми поверхностями от 40 до 100 °С (Тп 100);
- от контакта с нагретыми поверхностями от 100 до 400 °С (Тп 400);
- от контакта с нагретыми поверхностями выше 400 °С (Тв);
- от конвективной теплоты (Тт) (только для специальной одежды).

Для специальной обуви:

- обусловленных климатом (Тк);
- от теплового излучения (Ти);
- от открытого пламени (То) (только для обуви из полимерных материалов);
- от искр, брызг расплавленного металла, окалины (Тр);
- от контакта с нагретыми поверхностями выше 45 °С только для специальной обуви (Тп);

Данный стандарт также подразумевает классификацию:

- по видам специальной защитной одежды;
- по способу защиты средства индивидуальной защиты ног;
- по видам специальной обуви;
- в зависимости от предохраняемых частей ног;
- по видам средства индивидуальной защиты рук;

– в зависимости от конструкции перчатки;

– по характеру применения средства индивидуальной защиты рук и ног.

ТР ТС 019/2011 подразумевает фиксирование индекса передачи теплового излучения по ГОСТ Р ИСО 6942–2007 [3]. Норматив для теплового потока 20 кВт/м² составляет 8 секунд.

ГОСТ Р ИСО 6942–2007 состоит из метода А и В. Метод А заключается в выдерживании испытуемого образца под действием плотности теплового потока определенного уровня, определенное время с последующим осмотром на изменение внешнего вида (усадка, обугливание, обесцвечивание, подпаливание, раскаленные места, тление, расплавление и т.д.).

В методе В, как и в методе А, испытуемый образец выдерживается под действием теплового излучения определенного уровня (Q_0), и фиксируется пороговое время на подъем температуры на 12 и 24 °С. По формуле (1) рассчитывается плотность пропущенного теплового потока Q_c :

$$Q_c = \frac{MC_p \cdot 12}{A(t_{24} - t_{12})}, \quad (1)$$

где M – масса медной пластины, кг; C_p – удельная теплоемкость меди, равная 0,385 кДж/(кг·°С); $12/(t_{24}-t_{12})$ – средняя скорость подъема температуры калориметра на отрезке между значениями 12 °С и 24 °С, °С/с; A – площадь медной пластины, м².

Для необходимого уровня падающего теплового потока (Q_0), коэффициент теплопередачи $TF(Q_0)$ рассчитывается как отношение плотности пропущенного теплового потока (Q_c) к падающему (Q_0) в процентах:

$$TF(Q_0) = \frac{Q_c}{Q_0}. \quad (2)$$

Для необходимого уровня падающего теплового потока (Q_0) индексом передачи теплового излучения $RHTI(Q_0)$ является среднее время t_{24} для подъема температуры калориметра на (24,0±0,2)°С с точностью до одной десятой секунды.

В зависимости от плотности падающего теплового потока (Q_0) классифицируют различные уровни, представленные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Низкие уровни	от 5 до 10 кВт/м ²
Средние уровни	от 20 до 40 кВт/м ²
Высокий уровень	80 кВт/м ² и выше

Для пошива специальной одежды наиболее часто используются хлопчатобумажные ткани (100%-ный хлопок или с вложением полиэфирных волокон) саржевого переплетения поверхностной плотностью 210...250 г/м². Обычно такая ткань маркируется как "для защиты от общепромышленных загрязнений". Для каждого отдельного вредного и опасного фактора предлагаются более специализированные защитные ткани.

Для проведения испытания используется стенд компания Метротекс [4...10], предназначенный для проведения испытаний по проверке защитных свойств материалов, используемых в теплозащитной одежде при воздействии теплового излучения в соответствии с методами ГОСТ Р ИСО 6942–2007.

Для проведения испытания по методу В заготавливаются три образца размером (230 x 80) мм. Испытуемые образцы выдерживаются при температуре (20±2)°С и

относительной влажности (65±2) % не менее 24 ч. Испытания проводятся в помещении, где температура находится между 15...35°С и где нет движения воздуха. Перед каждым последующим испытанием калориметр охлаждается до комнатной температуры ±2°С.

Перед проведением испытаний производится калибровка калориметра для необходимого уровня теплового излучения Q_0 . После калибровки держатель с образцом устанавливается на каретку, открывается защитный экран и выдерживается в течение времени, необходимого для подъема на 24°С.

Для проведения испытаний были выбраны следующие ткани для производства специальной одежды на защиту от повышенных температур:

- Frall 440 (100% хлопок);
- Frall 330 (100% хлопок);
- FlameFort W-280 (100% арамид);
- FlameFort 210A (100% арамид);
- TenCate Tecasafe Plus (51% модакрил, 43% целлюлозное волокно, 5% параамид, 1% антистатическая нить).

В табл. 2 (средние значения индекса передачи теплового излучения $R_{HTI}(Q_0)$ и коэффициента вариации при воздействии различных тепловых потоков) приведены данные показателей индекса передачи теплового излучения $R_{HTI}(Q_0)$ для данных тканей.

Т а б л и ц а 2

Наименование тканей	Тепловой поток 20 кВт/м ²		Тепловой поток 40 кВт/м ²		Тепловой поток 60 кВт/м ²		Тепловой поток 80 кВт/м ²	
	$R_{HTI}(Q_0)_c$	$C_v, \%$	$R_{HTI}(Q_0)_c$	$C_v, \%$	$R_{HTI}(Q_0)_c$	$C_v, \%$	$R_{HTI}(Q_0)_c$	$C_v, \%$
Frall 440	15,8	2,2	9,2	1,1	6,6	1,5	5,0	2,6
Frall 330	14,1	0,7	8,1	2,0	6,0	1,9	4,5	1,3
FlameFort W-280	15,2	2,1	8,4	3,0	6,2	4,9	4,9	1,6
FlameFort 210A	13,8	1,3	7,4	1,0	5,2	0,2	4,2	2,8
TenCate Tecasafe Plus	13,6	0,5	7,5	1,5	5,1	2,3	4,2	3,4

На основе данных табл. 2 построена гистограмма (рис. 1).

Все выбранные ткани удовлетворяют ТР ТС 019/2011 (выдерживают более 8 с при тепловом излучении 20 кВт/м²).

Наибольшая защита от повышенной температуры у ткани для производства специальной одежды Frall 440 (15,8 с), наименьшая – TenCate Tecasafe Plus (13,6 с), меньше на 13,9%.



Рис. 1

При повышении теплового излучения до 40 кВт/м² средний индекс передачи теплового излучения RHTI (Q_0) в среднем уменьшается на 43,8% по сравнению с 20 кВт/м². Для данного уровня теплового потока норматив по ТР ТС 019/2011 не предусмотрен. Наибольший индекс у Frall 440 и составил – 9,2 с, наименьший – 7,4 с у FlameFort 210A (на 19,6% меньше). Из-за сырьевого состава у тканей Frall 440, Frall 330 и TenCate Tecasafe Plus происходит охрупчивание (структура материала становится ломкой, хрупкой). У тканей FlameFort W-280 и FlameFort 210A происходит изменение внешнего вида (выцветание).

При повышении теплового излучения до 60 кВт/м² средний индекс передачи теплового излучения RHTI (Q_0) в среднем уменьшается на 28,4% по сравнению с 40 кВт/м². Для Frall 440 составляет 6,6 с (наибольшее) и TenCate Tecasafe Plus – 5,1 с (наименьшее, на 22,7% меньше Frall 440). У тканей Frall 440, Frall 330 и TenCate Tecasafe Plus происходит дальнейшее охрупчивание, а выцветание у FlameFort W-280 и FlameFort 210A становится сильнее.

При повышении теплового излучения до 80 кВт/м² средний индекс передачи теплового излучения RHTI (Q_0) в среднем уменьшается на 20,8% по сравнению с 60

кВт/м². И для Frall 440 составляет 5,0 с (наибольшее) и TenCate Tecasafe Plus – 4,2 с (наименьшее, на 16,0% меньше Frall 440).

ВЫВОДЫ

1. Если использовать ткань для пошива специальной одежды для защиты от теплового излучения 20 кВт/м², то могут быть использованы все представленные ткани, так как они соответствуют ТР ТС 019/2011 (выдерживают более 8 с). В данной статье, в дополнение к стандартной методике для теплового излучения 20 кВт/м², были проведены испытания для теплового излучения 40, 60 или 80 кВт/м², так как такие потоки встречаются в экстремальных условиях. Для данных потоков не предусмотрен норматив. ТР ТС 019/2011 необходимо дополнить нормативами для теплового излучения 40, 60 или 80 кВт/м².

2. При защите от теплового излучения 40, 60 или 80 кВт/м² предпочтение лучше отдавать арамидным тканям (FlameFort W-280 и FlameFort 210A), так как после воздействия теплового излучения происходит выцветание, но прочностные характеристики сохраняются на таком же уровне, по сравнению с хлопковыми тканями (Frall 440 и Frall 330), у которых происходит охрупчивание. У ткани для производства специальной одежды TenCate Tecasafe индекс передачи теплового излучения для теплового излучения 40, 60 и 80 кВт/м² соответствует FlameFort 210A, но у первой ткани также происходит охрупчивание из-за сырьевого состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический Регламент Таможенного Союза ТР ТС 019/2011 "О безопасности средств индивидуальной защиты".
2. ГОСТ 12.4.103–83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация.
3. ГОСТ Р ИСО 6942–2007. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда для защиты от тепла и огня. Методы оценки материалов и пакетов материалов, подвергаемых воздействию источника теплового излучения.

4. Прибор для испытания материала и пакетов материала, подвергаемых воздействию источников теплового излучения по ГОСТ Р ИСО 6942–2007 МТ 265 URL: <https://www.metrotex.ru/products/mt-265> (дата обращения: 15.03.2021)

5. Иванов Н.А., Шустов Ю.С. Определение порогового времени контактирования тканей специального назначения в условиях повышенной температуры // Сб. мат. Всерос. научн. конф.: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (Инновации-2020), посвященная Юбилейному году в ФГБОУ ВО РГУ имени А.Н. Косыгина. Часть 2. – 2020. С.9...14.

6. Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Давыдов А.Ф., Журавлева Е.М. Исследование защитных свойств тканей для одежды сварщиков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 103...107.

7. Bulanov Y.I., Kurdenkova A.V., Shustov Y.S. Establishing correlation between cutting load and punching force taking account of impact of external factors // Fibre Chemistry. – V. 51, № 2, 2019. P. 135...138.

8. Chernyshev M.V., Davydov A.F., Chernysheva G.M. Complex estimation of fabrics for sewing clothing for workers in oil refining plants // Fibre Chemistry. – V. 49, № 1, 2017. P. 67...69.

9. Baida O.N., Davydov A.F. Prediction of the development of burns in a worker dressed in protective clothing in case of exposure to flare flame // Fibre Chemistry. – V. 51, № 4, 2019. P. 286...288.

10. Чернышев М.В., Давыдов А.Ф., Чернышева Г.М. Оценка показателей качества для тканей при пошиве специальной одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 1. С.32...35.

REFERENCES

1. Technical Regulations of the Customs Union TR TS 019/2011 "On the safety of personal protective equipment".

2. GOST 12.4.103–83. The system of labor safety standards (SSBT). Special protective clothing, personal protective equipment for legs and arms. Classification.

3. GOST R ISO 6942–2007. System of labor safety standards (SSBT). Clothing to protect against heat and fire. Methods for evaluating materials and packages of materials exposed to a source of thermal radiation.

4. Device for testing material and material packages exposed to thermal radiation sources according to GOST R ISO 6942–2007 МТ 265 URL: <https://www.metrotex.ru/products/mt-265> (date of access: 03/15/2021)

5. Ivanov N.A., Shustov Yu.S. Determination of the threshold time of contacting tissues for special purposes under conditions of elevated temperature // Sat. mat. Vseros. scientific Conf.: Innovative Development of Engineering and Technology in Industry (Innovations-2020), dedicated to the Anniversary Year at the A.N. Kosygin. Part 2. – 2020. P.9...14.

6. Kurdenkova A.V., Shustov Yu.S., Davydov A.F., Zhuravleva E.M. Investigation of the protective properties of fabrics for welders' clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.– 2017, № 4. P. 103 ... 107.

7. Bulanov Y.I., Kurdenkova A.V., Shustov Y.S. Establishing correlation between cutting load and punching force taking account of impact of external factors // Fiber Chemistry. – V. 51, № 2, 2019. P.135...138.

8. Chernyshev M.V., Davydov A.F., Chernysheva G.M. Complex estimation of fabrics for sewing clothing for workers in oil refining plants // Fiber Chemistry. – V. 49, № 1, 2017. P.67...69.

9. Baida O.N., Davydov A.F. Prediction of the development of burns in a worker dressed in protective clothing in case of exposure to flare flame // Fiber Chemistry. – V. 51, № 4, 2019. P. 286...288.

10. Chernyshev M.V., Davydov A.F., Chernysheva G.M. Evaluation of quality indicators for fabrics when tailoring special clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.– 2018, № 1. P.32 ... 35.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 25.10.21.