

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-2.176>

УДК 614.895.5

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ПАКЕТОВ МАТЕРИАЛОВ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТНОЙ ПОЖАРНЫХ С УЧЕТОМ ПОСЛОЙНОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НАГРЕВАНИИ

Жук Д.В., Дмитракович Н.М.

Цель. Определение защитных свойств пакета материалов при нагреве.

Методы. Исследование изменения температуры в пакете материалов путем послойного контроля значений при нагреве.

Результаты. Разработана и представлена установка для проведения экспериментальных исследований изменения температуры в слоях пакета материалов и методика к ней. Проведены экспериментальные исследования, получены числовые характеристики исследуемых пакетов защитной одежды пожарных. Результаты исследований сопоставлены с теоретическим расчетом в среде ANSYS. Погрешность расчетных данных не превышает 7 %.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы в разработке, исследовании и оптимизации строения и конструкции пакета материалов для защитной одежды пожарных.

Ключевые слова: одежда специальная защитная пожарных и спасателей, пакеты материалов, коэффициент теплопроводности, тепловой поток, сопротивление теплопередаче.

(Поступила в редакцию 20 февраля 2020 г.)

Введение

Органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь располагают всеми необходимыми средствами для ликвидации различного рода аварий и катастроф, главная задача при которых – сохранение жизни и здоровья спасаемых и спасателей. Барьером для опасных факторов, оказывающих влияние на спасателя, является одежда специальная защитная пожарных и спасателей (далее – ОСЗ). Устойчивость ОСЗ к воздействию высокоинтенсивных тепловых потоков, открытому пламени, обеспечение заданных показателей комфорта пожарных и спасателей – значимые свойства при выполнении аварийно-спасательных и других неотложных работ, в том числе при изменяющихся климатических условиях. Следовательно, для достижения указанных результатов необходимо выполнить ряд исследований, которые позволят оценить защитные свойства ОСЗ на стадии проектирования одежды с заданными показателями качества.

Разработка подходов по определению защитных свойств проводится по всему миру. Лидерами в этом направлении являются США (National Fire Protection Association (NFPA)), Канада (University of Alberta), Швейцария (Swiss Federal Laboratories for Materials Science & Technology (Empa)). Перечень воздействий при испытании ОСЗ в этих странах включает воздействие факела пламени (газовое и жидкое топливо) [1]; воздействие огненной вспышки [2]; прокал горячей поверхности [3]; контакт с расплавленным металлом [4]; драпировка при контакте с горячей жидкостью [4]; воздействие паром под давлением. Во время тестирования используется датчик или группа датчиков (Copper Sensor, Epoxy Resin Sensor, PyroCal Sensor, Skin Simulant Sensor, Aluminum Sensor, Thermocouple), которые помещаются на тыльную сторону ткани или одежды, а лицевая сторона ткани или одежды подвергается определенному воздействию.

В Республике Беларусь действует ряд технических нормативных правовых актов, регламентирующих требования к ОСЗ и методам испытания тканей, составляющих пакет

материалов для ОСЗ^{1, 2, 3, 4}. Материалы тканей подвергаются испытаниям на предмет ограничения распространения пламени (в виде одно- и многокомпонентных тканей), устойчивости к воздействию повышенных температур и теплового потока, устойчивости к контакту с нагретыми твердыми поверхностями, устойчивости материала верха к воздействию открытого пламени⁵, а также определение теплопроводности пакета материалов. Основное отличие методик в государственных стандартах заключается в испытании тканей, пакетов материалов как единого целого. Исследование послойного распределения температуры в пакете материалов в течение всего времени испытаний по стандартным методикам⁶ провести не представляется возможным, т. к. не учитываются факторы оценки теплового комфорта спасателей и пожарных. Кроме того, не представляется возможным провести оценку эффективности материалов в составе пакета защитной одежды, что, в свою очередь, не позволяет обеспечить баланс между стоимостью затрат на производство защитной одежды и ее качеством.

С целью проведения экспериментальных исследований пакетов материалов при послойном распределении значений температуры разработаны методика проведения испытаний и лабораторная установка, позволяющие испытывать образцы в условиях нагрева⁷. Представленный подход в части послойного исследования температурных режимов пакетов материалов при нагреве положен в основу комплекса исследований ОСЗ при выполнении задач по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Основная часть

Методика проведения испытания пакета образцов ткани на теплопроводимость регламентирует порядок подготовки опытных образцов, схему испытательной установки, порядок фиксации и обработки результатов измерений. В результате испытаний предусмотрено определение такого параметра пакета образцов ткани, как распределение температур по слоям пакета материалов во время проведения эксперимента.

Подготовка опытных образцов. Пакет материалов должен состоять из материала верха, водонепроницаемого слоя, съемной теплоизоляционной подстежки и подкладочной ткани. Допускается совмещать водонепроницаемый слой со съемной теплоизоляционной

¹ Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Метод определения теплопередачи при воздействии пламени: ГОСТ Р ISO 9151-2007. – Введ. 01.07.07. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: ФГУП «Стандартинформ», 2007. – 11 с.

² Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от тепла и пламени. Метод испытаний на ограниченное распространение пламени: ГОСТ ISO 15025-2012. – Введ. 01.09.13. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: ФГУП «Стандартинформ», 2013. – 18 с.

³ Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от термических рисков электрической дуги. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 12.4.234-2012. – Введ. 29.11.12. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 35 с.

⁴ Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ Р 53264-2009. – Введ. 20.04.09. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: ФГУП «Стандартинформ», 2009. – 36 с.

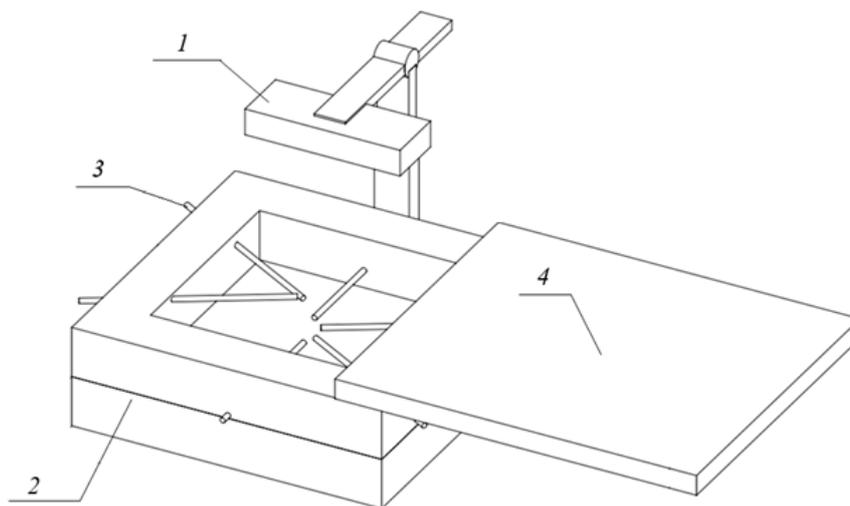
⁵ Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Метод определения теплопередачи при воздействии пламени: ГОСТ Р ISO 9151-2007. – Введ. 01.07.07. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: ФГУП «Стандартинформ», 2007. – 11 с.

⁶ См. сноски 1–4.

⁷ Разработка научно обоснованных методов исследования механизмов теплопередачи в системе «Человек – защитная одежда – внешняя среда»: отчет о НИР (заключ.) / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси; рук. темы Н.М. Дмитрикович. – Минск, 2019. – 91 с. – № ГР 20180624.

подстежкой⁸. Для испытаний отбирают не менее 3 проб пакета материалов размером 200×200 мм. Пробы пакета материалов должны включать все материалы, входящие в состав изделия.

Описание лабораторной установки. Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой калориметрический многослойный модуль 2 шириной 300 мм, длиной 300 мм и высотой 100 мм, состоящий из двух частей. Боковые стенки и тыльная сторона выполнены из теплоизоляционного материала с высокой удельной теплоемкостью. Во фронтальной части модуля сделан вырез квадратного сечения размерами 200×200×50 мм для установки исследуемого образца. В объеме выреза расположены 6 термопар ТХК (хромель/копель) по ГОСТ Р 8.585-2001⁹. Термопары зафиксированы в боковых стенках модуля и находятся под углом 120° относительно каждой, а термочувствительные спаи равноудалены на 20 мм от центра выреза. Непосредственно после установки пакета исследуемого материала на каждый из шести слоев устанавливаются термопары. Фиксирование образца и термопар обеспечивает верхняя часть модуля (рис. 1). Для изоляции модуля от источника излучения установлена задвижка 4. В качестве источника излучения 1 применяется кварцевая галогенная лампа, расположенная по нормали к плоскости опытного образца на удалении 150 мм.



1 – галогенная лампа; 2 – калориметрический многослойный модуль; 3 – термопара; 4 – задвижка
Рисунок 1. – Схема установки для исследования нагрева пакета материалов

Для измерения значений плотности теплового потока используется датчик Гордона с диапазоном измерения от 1 до 50 кВт/м² и погрешностью измерений не более 8 %, который выводится на вторичный прибор с классом точности не менее 0,15. Датчик измерения плотности теплового потока устанавливается на задвижку. Изменение величины теплового потока производится путем уменьшения/увеличения высоты установки лампы. После установки требуемого значения плотности теплового потока датчик изымается. Фиксирование численных значений температуры осуществляется прибором ИР «СОСНА 002». Для измерения времени изменения температуры на внутренней поверхности пакета материалов используется секундомер «Интеграл С-01» с погрешностью измерения 1 с в сутки.

Порядок исследования температурного воздействия на пакет материалов.

⁸ Система стандартов безопасности труда. Одежда пожарных боевая. Общие технические условия: СТБ 1971-2009. – Введ. 14.07.09. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь: Мин-во по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 2009. – 31 с.

⁹ Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования: ГОСТ Р 8.585-2001. – Введ. 30.02.06. – Москва: Госстандарт РФ: ФГУП «Стандартинформ», 2010. – 78 с.

1. Устанавливают задвижку; генерируют тепловой поток заданной мощности по плоскости опытного образца; устанавливают программное обеспечение для работы с прибором ИР «СОСНА-002»; устанавливают связь термодар с прибором ИР «СОСНА-002», персональным компьютером.

2. Прогревают установку в течение 25 ± 5 мин.

3. Изменяя расстояние между источником теплового излучения и датчиком, устанавливают галогенную лампу на таком расстоянии от пробы, при котором значение плотности падающего теплового потока равно 5 кВт/м^2 . После окончания настройки датчик изымают.

4. Извлекают задвижку, открывая тем самым доступ теплового потока к образцу, включают секундомер. Выдерживают пробу в течение 3 мин.

5. По окончании эксперимента заслонку закрывают, числовые значения температур заносят в таблицу.

6. После остывания установки извлекают образец и формируют таблицу фотоснимков результатов эксперимента.

Обработка данных осуществляется с учетом погрешности измерений. По графической зависимости определяются коэффициенты аппроксимирующего уравнения.

Необходимо отметить, что каждая серия измерений производится на новом образце.

Оценка результатов испытаний. Пакет материалов считают выдержавшим испытания, если значение температуры на внутренней поверхности пакета материала в течение нормативного времени испытания не превышало $50 \text{ }^\circ\text{C}$ и на всех пробах не произошло:

– разрушения наружной поверхности материала верха и внутренних слоев пакета (оплавления, обугливания, прогара);

– отслоения покрытия от тканевой основы (для материалов с полимерным пленочным покрытием);

– воспламенения.

Для сравнения экспериментальных данных с данными расчета строятся аппроксимационные кривые. В целях сравнения различных вариантов аппроксимации применяется величина скорректированного коэффициента детерминации R^2 . Данный показатель может варьироваться от 0 до 1. Чем он выше, тем аппроксимация достовернее.

Обсуждение результатов. Одновременно при проведении экспериментальных испытаний пакетов материалов осуществлено моделирование процесса теплопереноса послойно в материалах пакета. Сделано это путем построения 3D-модели по каждому из слоев материалов пакета, установки физических свойств модели тканей и разбиения трехмерной модели на расчетную сетку. Расчет проведен в среде ANSYS 2019 R3 [6]. Программный комплекс использует в расчете метод конечных элементов для решения уравнений с частными производными. Для описания протекающих процессов теплообмена подключен модуль Transient Thermal, который использует закон сохранения энергии (для каждого элементарного объема), уравнение теплопроводности Фурье – Кирхгофа (1):

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

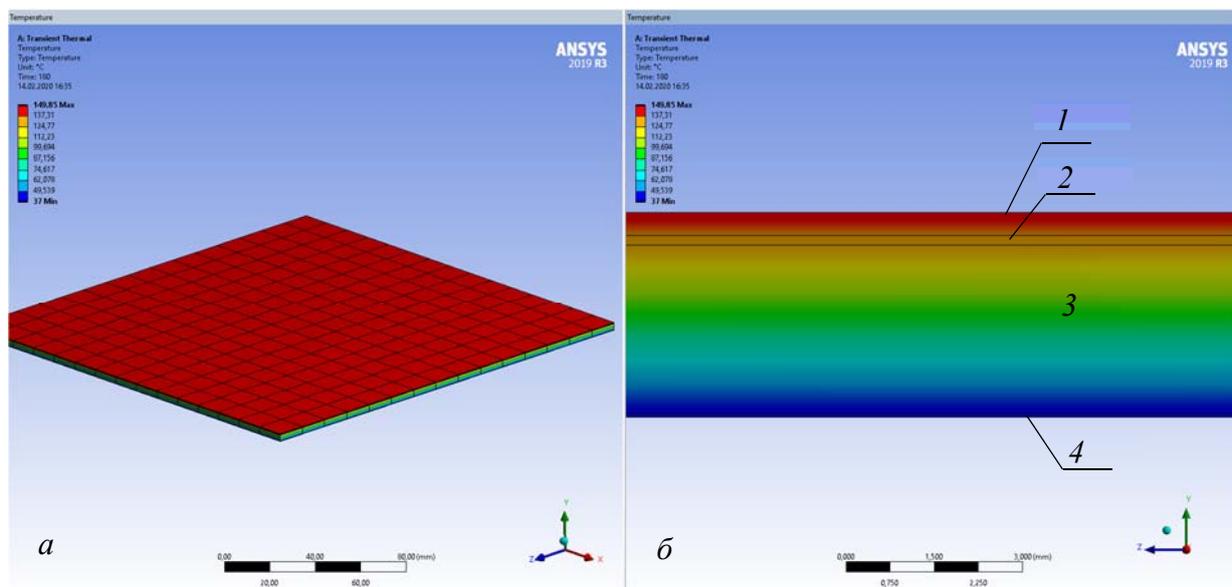
где w_x, w_y, w_z – компоненты скорости движения среды; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; T – температура, К; τ – время, с.

Система дифференциальных уравнений имеет бесконечное множество решений. Выделить из них конкретное решение можно заданием условий однозначности (краевые условия) [6]. Необходимо задать геометрические условия однозначности (задать форму и размеры объекта, в котором протекает процесс); физические условия однозначности (свойства среды и тел в объекте); временные условия. Особенности протекания процесса на границах тела задают граничные условия 1-го рода (условие Дирихле) – распределение

температуры по поверхности тела во времени. Условие Дирихле определяет поведение системы на границе рассматриваемой области.

Условия внешней среды приняты как стандартные, а зависимость температуры на тыльной поверхности пакета материалов была определена возрастающей кривой от 36 °С до 40 °С – температура тела человека, при которой происходит теплообмен теплопроводностью, излучением и конвекцией.

Результаты расчета представлены в виде теплового распределения по слоям модели пакета материалов, а также графических зависимостей числовых данных. При режиме нагрева распределение значений температурного поля в слоях пакета материалов представлено на рисунке 2.



a – вид модели пакета материалов; *б* – распределение температуры по слоям:
 1 – материал верха; 2 – ткань мембрана; 3 – ткань ватин; 4 – ткань подкладочная

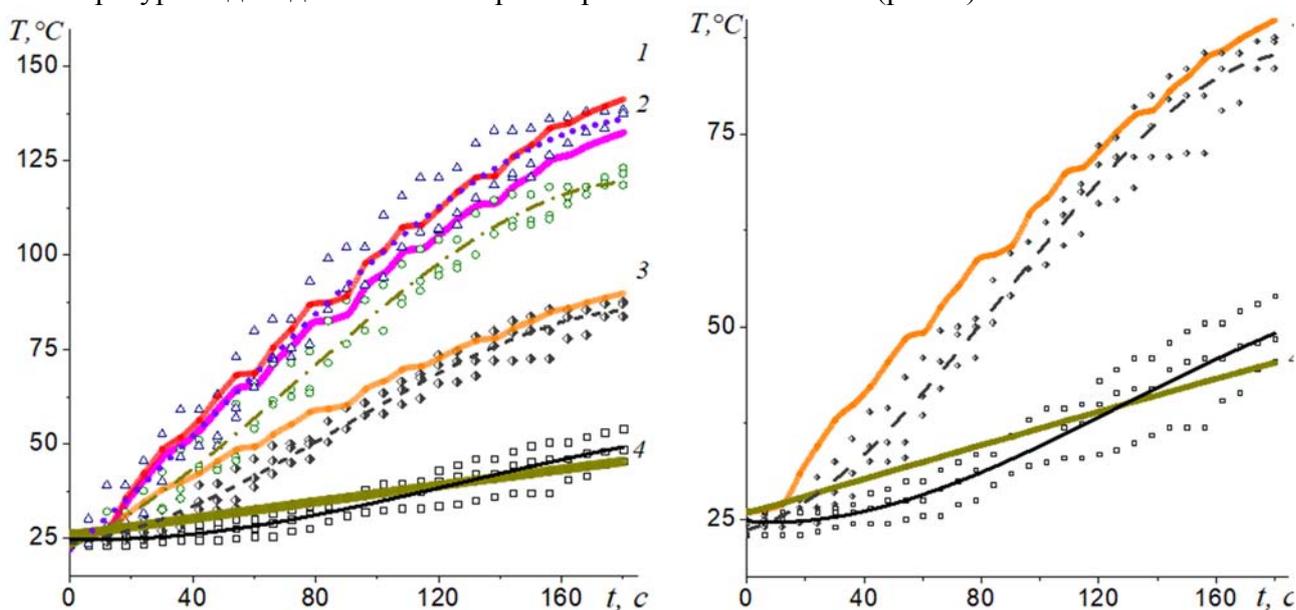
Рисунок 2. – Распределение значений температуры в слоях пакета материалов при моделировании

Проведены испытания трех образцов пакетов материалов, отличающихся материалом верха (ткани: леонид (рис. 3), мадейра, костюмная). Все образцы имеют по пять слоев материалов: материал верха, подкладочная с пленочным покрытием (мембрана), два слоя материала типа ватин, ткань подкладочная.



Рисунок 3. – Пример пакета материалов ОСЗ (ткань с огнезащитными свойствами леонид)

В каждой серии из исследуемых материалов температура под подкладочной тканью (тыльная сторона пакета материалов) не превысила 50 °С. Оптимальными теплоизоляционными свойствами в условиях нагрева обладает пакет материалов с тканью верха леонид. Температура подкладочного слоя при нагреве составила 45 °С (рис. 4).



а – изменение температуры в слоях пакета материалов

б – изменение температуры в слоях ткани ватин и подкладочная

Значения температуры по слоям материала при проведении эксперимента:

△ материал верха; ○ ткань мембрана; ◈ ткань ватин; □ ткань подкладочная

Аппроксимирующие кривые значений температуры по слоям материала:

● материал верха; —●— ткань мембрана; - - - ткань ватин; ——— ткань подкладочная

Значения температуры по слоям материала при моделировании в среде ANSYS:

1 – материал верха; 2 – ткань мембрана; 3 – ткань ватин; 4 – ткань подкладочная

Рисунок 4. – Зависимость изменения температуры в слоях пакета материала от времени при постоянной плотности теплового потока 5 кВт/м²

По значениям температуры каждого слоя построены аппроксимационные кривые, оценка качества произведена по скорректированному коэффициенту детерминации R^2 (табл. 1).

Таблица 1. – Значение коэффициента детерминации аппроксимационных кривых

Образец	Слой			
	1	2	3	4
Леонид	0,959	0,923	0,991	0,987
Мадейра	0,984	0,991	0,993	0,99
Костюмная	0,93	0,985	0,976	0,969

На основании методики исследования теплофизических свойств и теплового поведения пакета специальной защитной одежды и отдельных составляющих его материалов¹⁰, разработанной совместно со специалистами ИТМО НАН Беларуси А.Д. Чорным, С.М. Даниловой-Третьяк, проведены измерения коэффициента теплопроводности, сопротивления теплопередаче и теплового потока для трех образцов пакетов тканей на установках ИТ-с-400 (сертификат калибровки № RU 01-2413/1945 К-11-2018 от 13 ноября 2018 г. (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)), ИТ-λ-400 (сертификат калибровки № RU 01-2413/1947 К-11-2018 от 13 ноября 2018 г. (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)).

¹⁰ См. сноску 7.

Определение температурной зависимости проводилось в диапазоне температур от -40 до $+40$ °С при атмосферном давлении в нейтральной газовой среде (азот).

Измерения проводились в направлении, перпендикулярном плоскости оснований образцов. Тепловой поток измерялся малоинерционным металлическим тепломером, который смонтирован на медном основании под опытным образцом. Рабочим слоем тепломера являлась пластина из нержавеющей стали. С помощью термопар в охранном колпаке нагревателем охранного колпака поддерживались адиабатические условия на боковой поверхности образца.

Полученные данные по испытанию приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Теплофизические характеристики пакетов тканей

Образец	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К	Сопротивление теплопередаче R , м ² К/Вт	Тепловой поток θ , Вт/м ²
Леонид	0,038	0,223	119,3
	0,039	0,217	122,5
	0,038	0,223	119,6
Мадейра	0,040	0,212	125,6
	0,042	0,202	132,0
	0,039	0,217	122,5
Костюмная	0,040	0,212	125,7
	0,040	0,212	125,7
	0,040	0,212	125,7

В результатах тепловых характеристик, полученных на вышеупомянутых установках, прослеживается взаимосвязь с результатами, полученными при использовании методики проведения испытания пакета образцов ткани на теплопроводность¹¹. Наименьшее численное значение коэффициента теплопроводности свойственно для медленного распространения тепла/холода по пакету материала, что коррелирует с большим численным значением сопротивления теплопередачи пакета материалов. Пакет с материалом верха леонид обладает лучшими теплоизолирующими свойствами при воздействии постоянного теплового потока. Полученные значения распределения температур по слоям пакета материалов имеют высокую сходимость с данными компьютерного моделирования. Погрешность расчетных данных не превышает 7 %.

Полученные результаты позволяют применять методику испытания пакетов материалов на теплопроводность при подборе образцов материалов в конструкцию ОСЗ для обеспечения теплового комфорта спасателя. Изложенный в методике подход по послойному измерению температур использован в конструкции экспериментальной установки, позволяющей исследовать тепловые характеристики одежды при моделировании работы спасателя. Предложенный подход позволит фиксировать тепловые показатели на всех интервалах испытания.

Заключение

В ходе исследований разработана экспериментальная установка для проведения экспериментальных исследований по испытанию пакетов материалов на теплопроводность, подготовлены опытные образцы, произведена наладка оборудования и аппаратуры, разработана соответствующая методика проведения экспериментальных исследований¹². Эксперимент проведен для трех типов пакетов материалов, используемых при изготовлении ОСЗ, а также пакетов материалов, используемых непосредственно для

¹¹ См. сноску 7.

¹² См. сноску 7.

изготовления ОСЗ предприятием РПУП «Униформ». Получены результаты изменения коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости тканей для диапазона температур от -40 до $+40$ °С при атмосферном давлении, близком к нормальному. Проведены исследования и получены значения теплофизических характеристик материалов, входящих в состав пакета, в диапазоне температур $20-160$ °С методом стационарного теплового потока.

Совместно с ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова» НАН Беларуси создана методика и изготовлена лабораторная установка для проведения экспериментальных исследований распределения температуры в слоях пакетов материалов. Полученные данные о распределении температур по слоям пакетов материалов были сопоставлены с данными компьютерного моделирования в среде ANSYS 2019 R3 модуля Transient Thermal. Данные, полученные при экспериментальных исследованиях, хорошо коррелируют с теоретическими исследованиями, что подтверждает правильность выбора метода экспериментальных исследований. Результаты проведенных исследований позволяют определить наиболее рациональный пакет материалов для ОСЗ с целью определения рациональных показателей комфорта спасателей и пожарных при выполнении аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Protective clothing – protection against heat and fire – method of test: evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat (ISO 6942: 2002(R2015)) [Electronic resource] / International Organization for Standardization. – SAI Glodal, 2015. – Mode of access: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/standards/iso-6942-2002-r2015--582845_saig_iso_iso_1334360. – Date of access: 04.04.2020.
2. Protective clothing against heat and flame – part 1: Test method for complete garments – measurement of transferred energy using an instrumented manikin (ISO 13506-1:2017) [Electronic resource] / International Organization for Standardization. – SAI Glodal, 2017. – Mode of access: https://infostore.saiglobal.com/en-au/Standards/I-S-EN-ISO-13506-1-2017-880631_SAIG_NSAI_NSAI_2092089. – Date of access: 04.04.2020.
3. Clothing for protection against heat and flame – determination of contact heat transmission through protective clothing or constituent materials – part 1: Contact heat produced by heating cylinder (ISO 12127-1: 2015) [Electronic resource] / International Organization for Standardization. – SAI Glodal, 2017. – Mode of access: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/ISO-12127-1-2015-591467_SAIG_ISO_ISO_1354822. – Date of access: 04.04.2020.
4. Protective clothing – assessment of resistance of materials to molten metal splash (BS EN ISO 9185: 2007) [Electronic resource] / International Organization for Standardization. – SAI Glodal, 2007. – Mode of access: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/BS-EN-ISO-9185-2007-199529_SAIG_BSI_BSI_475084. – Date of access: 04.04.2020.
5. Standard Test Method for Evaluating Heat Transfer through Materials for Protective Clothing Upon Contact with a Hot Liquid Splash (ASTM F 2701: 2008) [Electronic resource] / International Organization for Standardization. – SAI Glodal, 2008. – Mode of access: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/ASTM-F-2701-2008-148677_SAIG_ASTM_ASTM_342968. – Date of access: 04.04.2020.
6. Денисов, М.А. Математическое моделирование теплофизических процессов ANSYS и CAE-проектирование: учеб. пособие / М.А. Денисов. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 149 с.

Разработка методики испытаний пакетов материалов одежды специальной защитной пожарной с учетом послойного контроля температуры при нагревании

Development of test methods for packages of materials for special protective clothing for firefighters taking into account layer-by-layer temperature control during heating

Жук Дмитрий Викторович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет подготовки
научных кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: z.d.vic@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-8244-3291

Dmitry V. Zhuk

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Faculty of Postgraduate Scientific Education,
Adjunct

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus

e-mail: z.d.vic@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-8244-3291

Дмитракович Николай Михайлович

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
аварийно-спасательной техники, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: ontrnic@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5372-1077

Nikolay M. Dmitrakovich

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Rescue Equipment, Professor

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus

e-mail: ontrnic@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5372-1077

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-2.176>

DEVELOPMENT OF TEST METHODS FOR PACKAGES OF MATERIALS FOR SPECIAL PROTECTIVE CLOTHING FOR FIREFIGHTERS TAKING INTO ACCOUNT LAYER-BY-LAYER TEMPERATURE CONTROL DURING HEATING

Zhuk D.V., Dmitrakovich N.M.

Purpose. Determining the protective properties of a package of materials when heated.

Methods. A research of temperature changes in a package of materials by layer's control of values during heating.

Findings. Installations and a method for conducting experimental studies of temperature changes in the layers of a package of materials are developed and presented. Experimental studies were carried out and numerical characteristics of the investigated packages of protective clothing for firefighters were obtained. The results of the research are compared with the theoretical calculation in the ANSYS environment. The error of the calculated data does not exceed 7 %.

Application field of research. The presented research results can be used both in the researches of the optimal design of the package of materials for protective clothing of firefighters, and for the further study of protective clothing in general.

Keywords: firefighter's special protective clothing, packages of materials, thermal conductivity coefficient, heat flux, heat transfer resistance.

(The date of submitting: February 20, 2020)

REFERENCES

1. *Protective clothing – protection against heat and fire – method of test: evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat (ISO 6942: 2002(R2015)).* International Organization for Standardization. SAI Glodal, 2015, available at: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/standards/iso-6942-2002-r2015--582845_saig_iso_iso_1334360 (accessed: February 20, 2020).
2. *Protective clothing against heat and flame. Part 1: Test method for complete garments – measurement of transferred energy using an instrumented manikin (ISO 13506-1:2017).* International Organization for Standardization. SAI Glodal, 2017, available at: https://infostore.saiglobal.com/en-au/Standards/I-S-EN-ISO-13506-1-2017-880631_SAIG_NSAI_NSAI_2092089 (accessed: February 20, 2020).
3. *Clothing for protection against heat and flame – determination of contact heat transmission through protective clothing or constituent materials. Part 1: Contact heat produced by heating cylinder (ISO 12127-1: 2015).* International Organization for Standardization. SAI Glodal, 2017, available at: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/ISO-12127-1-2015-591467_SAIG_ISO_ISO_1354822 (accessed: February 20, 2020).
4. *Protective clothing – assessment of resistance of materials to molten metal splash (BS EN ISO 9185: 2007).* International Organization for Standardization. SAI Glodal, 2007, available at: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/BS-EN-ISO-9185-2007-199529_SAIG_BSI_BSI_475084 (accessed: February 20, 2020).
5. *Standard Test Method for Evaluating Heat Transfer through Materials for Protective Clothing Upon Contact with a Hot Liquid Splash (ASTM F 2701: 2008).* International Organization for Standardization. SAI Glodal, 2008, available at: https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/ASTM-F-2701-2008-148677_SAIG_ASTM_ASTM_342968 (accessed: February 20, 2020).
6. Denisov M.A. *Matematicheskoe modelirovanie teplofizicheskikh protsessov ANSYS i CAE-proektirovanie* [Mathematical modeling of thermophysical processes ANSYS and CAE-design]: tutorial. Ekaterinburg: Ural Federal University, 2011. – 149 p. (rus)