

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 677.017.56

ГУСАРОВ АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ ДЛЯ
БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.19.01 – Материаловедение производств
текстильной и лёгкой промышленности

Витебск, 2016

Работа выполнена в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель: **Кузнецов Андрей Александрович**, доктор технических наук, профессор, ректор учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты: **Николаев Сергей Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии», заслуженный деятель науки Российской Федерации

Сыцко Валентина Ефимовна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры товароведения учреждения образования «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации»

Оппонирующая организация: Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Центр научных исследований легкой промышленности»
г. Минск, Республика Беларусь

Защита состоится «06» декабря 2016 г. в 10:00 часов на заседании совета по защите диссертаций К 02.11.01 в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» по адресу:

210035, г. Витебск, Московский проспект, 72.

E-mail: vstu@vitebsk.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «28» октября 2016 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент

Г.В. Казарновская

ВВЕДЕНИЕ

Среди технических средств обеспечения безопасных условий труда пожарных доминирующую роль играет специальная защитная одежда (СЗО), являющаяся последним барьером, который способен сохранить жизнь и здоровье людей. Одним из главных вопросов, решаемых при создании защитной одежды пожарных, является оптимальный выбор материалов. Важнейшим этапом проектирования одежды специального назначения является проведение комплекса нормативных испытаний материалов. Зачастую именно нормативные испытания новых материалов по требованиям безопасности служат фактором, замедляющим проектирование и внедрение в производство современной защитной одежды пожарных. Для снижения сроков проектирования и стоимости изделий необходимо совершенствование средств и методической базы испытаний материалов по требованиям безопасности. Кроме того, до настоящего времени не решены вопросы надёжности и безопасной эксплуатации защитной одежды пожарных. Вследствие этого развитие системы оценки качества СЗО пожарных, разработка комплексных методов оценки ее показателей теплозащитных свойств, а также прогнозирование их изменения в процессе эксплуатации остается актуальной научной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы «Производство и отделка текстильных, трикотажных и швейных изделий» (Указ Президента Республики Беларусь 22.07.2010 № 378) и на 2016 – 2020 годы «Безопасность человека, общества и государства» (Постановление Совета Министров РБ от 12.03.2015 г. №190).

Диссертационная работа выполнялась в рамках:

– Государственной программы научных исследований «Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», подпрограмма 2 «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций – 2015», задание «Разработка методов оценки и прогнозирования физико-механических и теплофизических свойств огнестойких материалов при эксплуатации защитной одежды пожарных» (№ ГР 20113641, сроки выполнения 3.01.2011 – 31.12.2012);

– Государственной программы научных исследований «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», подпрограмма 8.2 «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций 2015», задание «Разработка методов и алгоритмов оценки качества огнестойких

материалов специального назначения» (№ ГР 20150906, сроки выполнения 03.01.2015 – 31.12. 2015).

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованных методов оценки и прогнозирования показателей теплофизических свойств пакетов для боевой одежды пожарных.

В соответствии с указанной целью поставлены и решены следующие основные задачи:

– исследование распределения температурных полей в многослойных пакетах материалов боевой одежды пожарных при нормативных испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию;

– разработка комплекса показателей, характеризующих теплозащитные свойства пакета материалов боевой одежды пожарных, и определение теплозащитных возможностей боевой одежды пожарных при различной плотности теплового воздействия;

– комплексный анализ закономерностей изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных при многоцикловом тепловом воздействии;

– исследование влияния основных факторов износа на показатели эксплуатационных свойств пакета материалов боевой одежды пожарных и прогнозирование безопасного срока службы готового изделия.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– впервые разработаны математические модели и алгоритмы расчета распределения температуры в многослойном пакете материалов при испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию с учетом зависимости показателей теплофизических свойств материалов от температуры, позволяющие на стадии проектирования пакета материалов для боевой одежды пожарных осуществить научно обоснованный выбор состава пакета;

– введены и обоснованы показатели, характеризующие теплозащитные свойства пакета материалов боевой одежды пожарных, что позволило повысить информативность нормативных испытаний и совершенствовать систему оценки технического состояния боевой одежды пожарных, а также установлены закономерности влияния плотности теплового воздействия на время ее безопасной эксплуатации (время достижения предельно допустимой температуры на внутренней поверхности пакета);

– впервые установлены закономерности влияния многоциклового теплового нагружения на показатели теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных, научно обоснованы и получены математические зависимости для прогнозирования показателей теплофизических свойств при многоцикловом тепловом нагружении;

– введены и обоснованы показатели, характеризующие эксплуатационные свойства боевой одежды пожарных, установлены закономерности влияния основных факторов износа на изменение показателей эксплуатационных свойств боевой одежды пожарных;

– получены математические зависимости эксплуатационной устойчивости пакета материалов боевой одежды пожарных к тепловому воздействию от количества циклов нагружения различными факторами износа, позволяющие осуществить прогнозирование технического состояния боевой одежды пожарных в процессе ее эксплуатации и ранжирование факторов износа по степени их влияния на показатели эксплуатационных свойств боевой одежды пожарных.

Положения, выносимые на защиту.

Математические модели и алгоритмы распределения температуры в многослойном пакете материалов при нормативных испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию, применение которых дает возможность сокращения сроков проведения и затрат на дорогостоящие натурные испытания материалов.

Методика оценки показателей, характеризующих теплозащитные свойства пакета материалов боевой одежды пожарных, по результатам кратковременных испытаний, применение которой позволит осуществить прогноз времени безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных при различной плотности теплового воздействия.

Математические зависимости, описывающие изменение показателей эксплуатационных свойств пакета материалов от количества циклов нагружения основными факторами износа и позволяющие прогнозировать изменение времени безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных при тепловом воздействии в зависимости от вида фактора износа.

Методика определения безопасного срока службы боевой одежды пожарных по результатам кратковременного эксперимента, которая реализуется без повреждения или разрушения образца и может применяться как для пакета материалов, так и для готового изделия.

Личный вклад соискателя. Соискателем лично:

– разработаны математические модели и алгоритмы расчета распределения температуры в многослойном пакете материалов при нормативных испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию;

– введены и обоснованы показатели, характеризующие теплозащитные свойства пакета материалов боевой одежды пожарных;

– получена математическая зависимость, описывающая влияния плотности теплового воздействия на время безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных;

- разработана методика оценки показателей, характеризующих теплозащитные возможности боевой одежды пожарных при различной плотности теплового воздействия;
- определены математические зависимости для прогнозирования показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных при многоцикловом тепловом нагружении;
- введены и обоснованы показатели, характеризующие эксплуатационные свойства боевой одежды пожарных;
- получены математические зависимости показателей эксплуатационных свойств боевой одежды пожарных от количества циклов нагружения основными факторами износа;
- разработана методика определения безопасного срока службы боевой одежды пожарных.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований, включенные в диссертацию, доложены на 44 и 49 Научно-технических конференциях преподавателей и студентов университета (Витебск, 2011, 2016); 4 Международной научно-практической конференции «Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость» (Минск, 2011); Международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (Гомель, 2011, 2012); Межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (ПОИСК – 2012) (Иваново, 2012); Международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (ПРОГРЕСС – 2012) (Иваново, 2012).

Методика расчета температуры в многослойном пакете материалов боевой одежды пожарных при нормативных испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию внедрена в производственных условиях РПУП «Униформ» (г. Микашевичи) и в учебный процесс кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» УО «ВГТУ». Методика оценки показателей, характеризующих теплозащитные свойства боевой одежды пожарных, по результатам кратковременных испытаний на устойчивость к тепловому воздействию внедрена в учреждении «НИЦ Витебского областного управления МЧС Республики Беларусь» и в учебный процесс кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» УО «ВГТУ».

Опубликованность результатов диссертации. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ общим объемом 3,9 авторских листа, в том числе 6 статей объемом 2,7 авторских листа – в научных изданиях, включенных в перечень изданий, утвержденных ВАК РБ.

Структура и объем диссертации. Работа содержит введение, общую ха-

рактеристику работы, основную часть, включающую пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем работы составляет 242 страницы, в том числе 137 страниц текста. Объем, занимаемый 44 рисунками, 32 таблицами и 10 приложениями, составляет 89 страниц. В работе использовался 181 библиографический источник, представленный на 16 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен аналитический обзор публикаций по теме диссертации, результаты изучения мирового рынка материалов и тканей специального назначения, анализ требований и методов оценки показателей теплофизических свойств материалов и их пакетов, используемых при изготовлении спецодежды пожарных, а также вопросы оценки ее качества при эксплуатации.

Показано, что боевая одежда пожарных (БОП) является важнейшим и самым массовым по применяемости средством индивидуальной защиты пожарных. Установлено, что пакет текстильных материалов, используемый для изготовления БОП, должен состоять из материала верха, водонепроницаемого слоя, теплоизоляционной подкладки и подкладочной ткани, допускается совмещение водонепроницаемого слоя с теплоизоляционной подкладкой или материала верха с водонепроницаемым слоем [1, 2]. В настоящее время существует достаточно широкий ассортимент материалов отечественного и зарубежного производства, пригодных для изготовления защитной одежды пожарных. В качестве объекта исследования рассматривались пакеты материалов, применяемые для БОП подразделений МЧС РБ, некоторые представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Состав пакетов материалов для боевой одежды пожарных

Наименование слоя	Наименование материалов пакета	
	Пакет №1	Пакет №2
Материал верха	Ткань из волокна «Арселон-С», саржевого переплетения, поверхностная плотность 260 г/м ²	Ткань из волокна «Арселон-С», саржевого переплетения, поверхностная плотность 223 г/м ² с нанесенным мембранным покрытием
Водонепроницаемый слой	Нетканое иглопробивное полотно с водонепроницаемой пленкой	Нетканое иглопробивное полотно (полиэфир 50 %, арселон 50 %), поверхностная плотность 300 г/м ²
Теплоизоляционная подкладка	Ватин полушерстяной холстопробивной, поверхностная плотность 235 г/м ²	Нетканое иглопробивное полотно (полиэфир 50 %, арселон 50 %), поверхностная плотность 300 г/м ²
Подкладочная ткань	Хлопчатобумажная ткань, полотняного переплетения, поверхностная плотность 140 г/м ²	Полиэфирная ткань, полотняного переплетения, поверхностная плотность 80 г/м ²

Проведен анализ номенклатуры показателей, характеризующих теплофизические свойства пакетов материалов БОП. Установлено, что полученные в условиях нормативных испытаний показатели теплофизических свойств пакетов материалов боевой одежды пожарных обладают недостаточной информативностью, так как могут при сравнении с базовыми значениями характеризовать только качество изготовления с точки зрения соответствия стандарту, и не позволяют осуществить прогноз показателей теплозащитных свойств в процессе эксплуатации готового изделия [6–9, 14].

Показано, что исследования, направленные на повышение информативности, снижение уровня временных и материальных затрат при проведении испытаний по оценке показателей теплофизических свойств материалов БОП, а также прогнозирование их изменения в процессе эксплуатации, являются актуальными научно-практическими задачами.

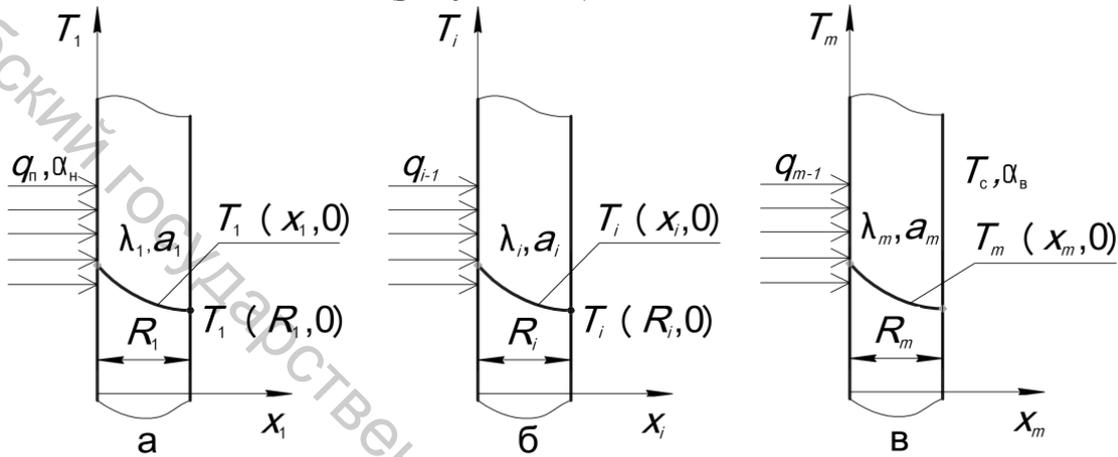
Вторая глава посвящена разработке математических моделей и алгоритма расчета распределения температуры в пакете материалов БОП при нормативных испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию.

Процесс определения устойчивости пакета материалов к воздействию теплового потока можно представить как нестационарный процесс теплопроводности в многослойной пластине с идеальным тепловым контактом на стыках слоев при несимметричных граничных и равномерных начальных условиях с переменными теплофизическими свойствами материалов. Система дифференциальных уравнений теплопроводности для многослойной пластины вместе с граничными и начальными условиями является математической моделью реального процесса испытаний пакета материалов на соответствие нормативным требованиям. Так как эта система уравнений является нелинейной (показатели теплофизических свойств материалов зависят от температуры), то получение единого аналитического решения практически невозможно. Предложено использовать зональный метод решения краевых задач теплопереноса, основанный на сочетании элементов аналитического и численного решения. Метод состоит в том, что весь процесс теплопередачи разбивается на множество малых временных интервалов, в пределах которых постоянны коэффициенты теплопереноса в слоях и плотности теплового потока через соприкасающиеся поверхности слоев, а также одинакова температура на стыках слоев, тогда граничные условия четвертого рода на стыках слоев заменяются условиями первого и второго рода, что облегчает решение задачи. Таким образом, общая задача для m -слойной пластины разбивается на три автономные задачи [5]:

– для наружного слоя ($i = 1$): теплопередача в неограниченной пластине с граничными условиями третьего рода на левой границе, первого рода – на правой границе, неравномерными начальными условиями и постоянными теплофизическими свойствами (рисунок 1 а);

– для промежуточных слоев ($i = 2, \dots, m-1$): теплопередача в неограниченной пластине с граничными условиями второго рода на левой границе, первого рода – на правой границе, неравномерными начальными условиями и постоянными теплофизическими свойствами (рисунок 1 б);

– для внутреннего слоя ($i = m$): теплопередача в неограниченной пластине с граничными условиями второго рода на левой границе, третьего рода – на правой границе, неравномерными начальными условиями и постоянными теплофизическими свойствами (рисунок 1 в).



а – для наружного слоя m -слойной пластины ($i = 1$); б – для промежуточного слоя m -слойной пластины ($i = 2, \dots, m-1$); в – для внутреннего слоя m -слойной пластины ($i = m$)

Рисунок 1. – Тепловая схема для отдельных слоев пакета материалов

Для уменьшения числа аргументов и облегчения решения представленных выше задач дифференциальные уравнения представлялись в безразмерных переменных. Аналитические решения задач для отдельных слоев пакета получены методом интегрального преобразования Лапласа и представлены в виде бесконечных сходящихся рядов [5]:

$$\Theta_1(\eta_1, Fo_1) = \Theta_{1,R} \cdot \frac{(Bi_1 \cdot \eta_1 + 1)}{(Bi_1 + 1)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot Bi_1 \cdot \sin[\mu_n \cdot (\eta_1 - 1)]}{(Bi_1 + \cos^2 \mu_n)} \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_1) \times \left(\int_0^1 \Theta_{1,0}(\xi) \cdot \sin[\mu_n \cdot (1 - \xi)] d\xi - \frac{\Theta_{1,R}}{\mu_n} \right), \quad (1)$$

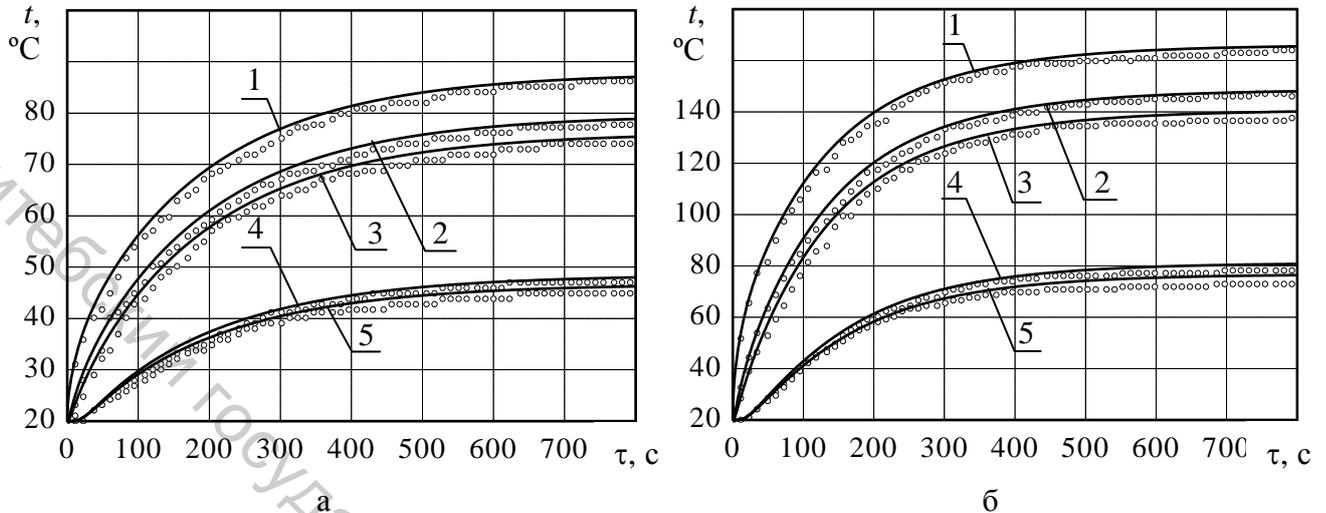
$$\Theta_i(\eta_i, Fo_i) = Ki_i \cdot \left[(1 - \eta_i) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \cos(\mu_n \cdot \eta_i)}{\mu_n^2} \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_i) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} 2 \cdot \cos(\mu_n \cdot \eta_i) \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_i) \cdot \int_0^1 \Theta_{i,0}(\xi) \cdot \cos(\mu_n \cdot \xi) d\xi, \quad (2)$$

$$\Theta_m(\eta_m, Fo_m) = Ki_m \cdot \left[\frac{[Bi_m \cdot (1 - \eta_m) + 1]}{Bi_m} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot Bi_m \cdot \cos(\mu_n \cdot \eta_m)}{\mu_n^2 \cdot (Bi_m + \sin^2 \mu_n)} \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_m) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot Bi_m \cdot \cos(\mu_n \cdot \eta_m)}{(Bi_m + \sin^2 \mu_n)} \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_m) \cdot \int_0^1 \Theta_{m,0}(\xi) \cdot \cos(\mu_n \cdot \xi) d\xi, \quad (3)$$

где $\Theta_1(\eta_1, Fo_1) = \left(\frac{A \cdot q_n}{\alpha_b} - T_1(x_1, \tau) \right) / T_1(R_1, 0)$ – безразмерная температура наружного слоя пакета; $\Theta_i(\eta_i, Fo_i) = (T_i(x_i, \tau) - T_i(R_i, 0)) / T_i(R_i, 0)$ – безразмерная температура промежуточного слоя пакета; $\Theta_m(\eta_m, Fo_m) = (T_m(x_m, \tau) - T_c) / T_c$ – безразмерная температура внутреннего слоя пакета; $T_i(x_i, \tau)$ – температура в точке x_i i -го слоя пакета в момент времени τ , К; T_c – температура окружающей среды, К; A – интегральная поглотительная способность наружного слоя; q_n – плотность потока теплового воздействия на наружную поверхность пакета, Вт/м²; τ – текущее время теплового воздействия, с; $\eta_i = x_i / R_i$ – безразмерная координата i -го слоя пакета; ξ – текущая безразмерная координата; x_i – пространственная координата в декартовой системе для i -го слоя пакета, м; R_i – толщина i -го слоя, м; $Fo_i = a_i \cdot \tau / R_i^2$ – критерий Фурье i -го слоя пакета; $Bi_1 = \alpha_n \cdot R_1 / \lambda_1$ – критерий Био наружного слоя пакета; $Bi_m = \alpha_b \cdot R_m / \lambda_m$ – критерий Био внутреннего слоя пакета; $Ki_i = (q_{i-1} \cdot R_i) / (\lambda_i \cdot T(R_i, 0))$ – критерий Кирпичева промежуточного слоя пакета; $Ki_m = (q_{m-1} \cdot R_m) / (\lambda_m \cdot T_c)$ – критерий Кирпичева внутреннего слоя пакета; α_n – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности пакета, Вт/(м²·К); α_b – коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности пакета, Вт/(м²·К); q_{i-1} – плотность потока теплового воздействия на левой границе промежуточного слоя пакета, Вт/м²; q_{m-1} – плотность потока теплового воздействия на левой границе внутреннего слоя пакета, Вт/м²; a_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя пакета, м²/с; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя пакета, Вт/(м·К); μ_n – корень характеристического уравнения: $\mu_n = -Bi_1 \cdot \operatorname{tg} \mu_n$ при $i = 1$, $\mu_n = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2}$ при $i = 2, \dots, m-1$, $\mu_n = Bi_m \cdot \operatorname{ctg} \mu_n$ при $i = m$.

Общее решение для расчета распределения температуры в многослойном пакете материалов БОП при нормативных испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию осуществлено с использованием методики численного сопряжения на каждом малом временном интервале аналитических решений (1–3). Совместно с Н. Л. Надежной алгоритм расчета температурных полей в многослойном пакете материалов реализован в среде MATLAB. В результате исследований, основанных на имитационном моделировании процесса теплопереноса в пакете материалов, установлено, что рациональными параметрами для численного сопряжения аналитических решений (1–3) являются: шаг по времени $\Delta\tau = 0,5$ с; шаг по толщине слоя $\Delta\eta_i = 0,01$; число членов сходящегося ряда аналитических решений $n = 6$. Уменьшение численного значения $\Delta\tau$, $\Delta\eta_i$ или увеличение числа n не является экономически обоснованным, так как приводит к существенному увеличению машинного времени расчета температурного поля в пакете материалов.

Некоторые результаты проведённых исследований процесса нестационарной теплопроводности в многослойном пакете материалов представлены на рисунках 2, 3 [5].

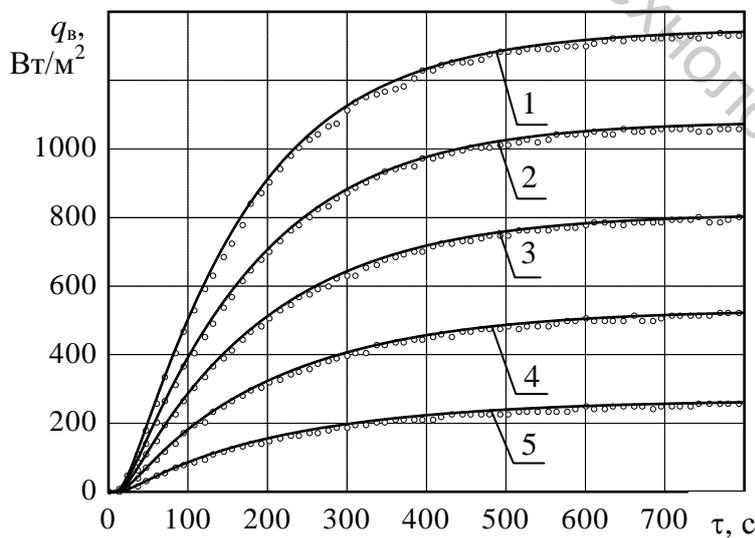


а – $q_n = 2000 \text{ Вт/м}^2$; б – $q_n = 5000 \text{ Вт/м}^2$;

1 – на наружной поверхности пакета; 2 – между материалом верха и водонепроницаемым слоем; 3 – между водонепроницаемым слоем и теплоизоляционной подстежкой; 4 – между теплоизоляционной подстежкой и подкладочной тканью; 5 – на внутренней поверхности пакета

— – результаты моделирования; ○ – экспериментальные данные

Рисунок 2. – Зависимость температуры от времени по слоям пакета материалов при различной плотности теплового воздействия



1 – $q_n = 5000 \text{ Вт/м}^2$; 2 – $q_n = 4000 \text{ Вт/м}^2$;
3 – $q_n = 3000 \text{ Вт/м}^2$; 4 – $q_n = 2000 \text{ Вт/м}^2$;
5 – $q_n = 1000 \text{ Вт/м}^2$

— – результаты моделирования;
○ – экспериментальные данные

Рисунок 3. – Зависимость плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов от времени при различной плотности теплового воздействия

Анализ полученных результатов позволяет отметить, что разность экспериментальной и расчётной температуры для всех слоев пакета при различной плотности падающего теплового потока на протяжении всего процесса нагревания составляет не более 5,5 %, а разность экспериментальной и расчётной плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета – не более 7 % [5].

По результатам проведённых исследований установлено, что коэффициент

ослабления инфракрасного излучения пакета материалов при различном уровне теплового воздействия практически не меняется и находится в диапазоне $K_{\text{осл}} = 73,3\text{--}73,9\%$ (по результатам эксперимента) и $K_{\text{осл}} = 73,0\text{--}73,6\%$ (по результатам моделирования), разность экспериментального и расчётного значения составляет не более 1 %.

Третья глава посвящена исследованию теплозащитных возможностей пакета материалов боевой одежды пожарных при различном уровне теплового воздействия.

С целью совершенствования системы оценки БОП, диагностирования технического состояния и определения ее тактических возможностей обоснован и введён комплекс показателей, характеризующих теплозащитные свойства пакета материалов боевой одежды пожарных [1, 8, 15].

При оценке времени безопасной эксплуатации пакета материалов при тепловом воздействии использовались нормативные требования к пакетам материалов, выдержавшим испытания на устойчивость к воздействию теплового потока: рост температуры на внутренней поверхности пакета материала в течение испытания не более чем на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ от начального значения или увеличение плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов до значения, равного 2500 Вт/м^2 [12, 14, 15].

В результате моделирования процесса теплопереноса в пакете материалов БОП при воздействии теплового потока в диапазоне от 1000 Вт/м^2 до 10000 Вт/м^2 получены зависимости температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета от времени. Некоторые результаты моделирования представлены на рисунке 4.

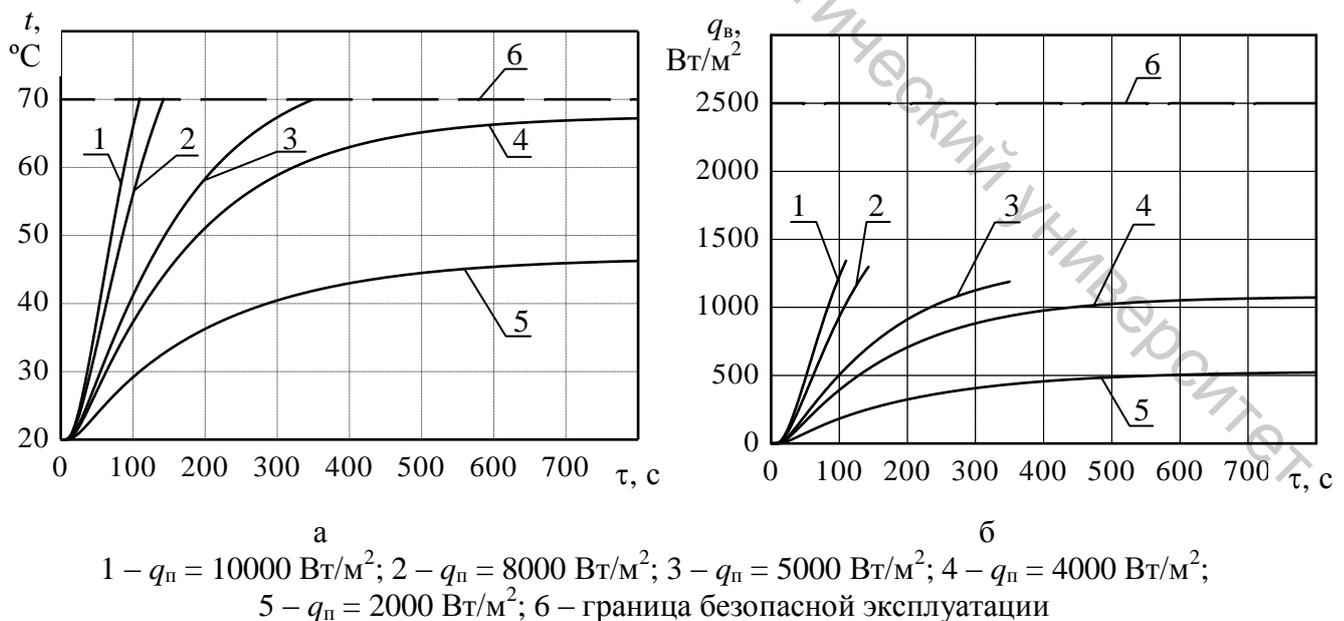
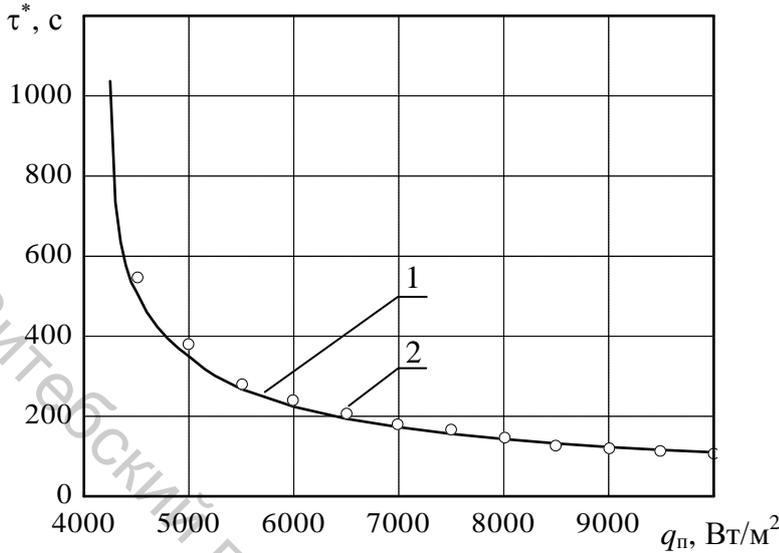


Рисунок 4. – Зависимость температуры (а) и плотности теплового потока (б) на внутренней поверхности пакета от времени при различной плотности теплового воздействия



1 – имитационное моделирование испытаний;
2 – экспериментальные данные

Рисунок 5. – Зависимость времени безопасной эксплуатации пакета материалов БОП от плотности теплового воздействия

По результатам проведенных исследований в рассматриваемом диапазоне теплового воздействия установлено: численное значение теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов q_v не превышает нормативного значения, следовательно, время безопасной эксплуатации пакета материалов определяется температурой на внутренней поверхности; значения максимальной температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов при

неограниченном времени испытания не превышают нормативных значений при плотности теплового воздействия не более 4200 Вт/м².

Сравнительный анализ результатов моделирования и экспериментальных исследований по оценке времени безопасной эксплуатации БОП при различной плотности потока теплового воздействия, представленный на рисунке 5, показал высокую сходимость полученных данных (максимальное отклонение не превышает 7,5 %). По данным эксперимента установлено, что численные значения максимальной температуры на внутренней поверхности пакета материалов при неограниченном времени испытания не превышают нормативных значений при плотности теплового воздействия до 4500 Вт/м² [15].

По результатам исследований получена математическая зависимость времени безопасной эксплуатации БОП от плотности потока теплового воздействия [1, 13, 15]:

$$\tau^* = B \cdot \ln \frac{q_n}{q_n - q_0}, \text{ при } T^* = \text{const}, \quad (4)$$

где τ^* – время безопасной эксплуатации БОП, с; q_n – плотность потока теплового воздействия на наружную поверхность пакета БОП, Вт/м²; q_0 – плотность потока теплового воздействия, который не вызовет нагрев внутренней поверхности пакета БОП более T^* при неограниченном времени воздействия, Вт/м²; B – темповой параметр, с.

Установлено, что математическая зависимость (4) адекватна как результатам имитационного моделирования испытаний, так и экспериментальным дан-

ным, что подтверждается значением достоверности модели R^2 . Отклонение значений параметров q_0 и B , полученных на основании результатов имитационного моделирования испытаний, от значений, полученных на основании экспериментальных данных, составляет 0,2 % и 8,7 %, соответственно. Для практического использования математической зависимости (4) совместно с А. А. Кузнецовым разработана методика оценки показателей q_0 и B по результатам кратковременных испытаний на устойчивость к тепловому воздействию пакета материалов.

Четвертая глава посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе многоциклового теплового воздействия.

При проведении исследований процесс изменения теплофизических свойств пакета материалов БОП представлялся в виде зависимостей максимальной температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета от числа циклов теплового воздействия [2, 3, 8].

Предположив, что процесс изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов при испытаниях на устойчивость к многократному тепловому воздействию идентичен нестационарному процессу накопления уровня повреждений в процессе Пуассона, определены математические зависимости максимальной температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета от количества циклов теплового воздействия [2, 3]:

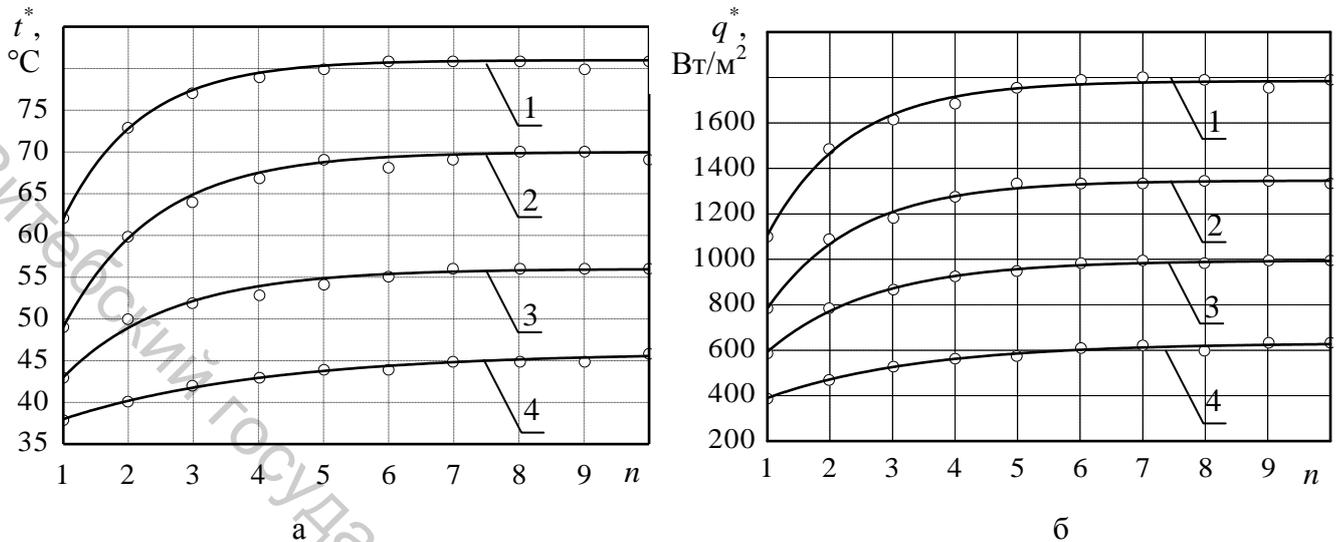
$$t^*(n) = t_p^* - (t_p^* - t_1^*) \cdot \exp[-M^d(n-1)^d], \quad (5)$$

$$q^*(n) = q_p^* - (q_p^* - q_1^*) \cdot \exp[-N^h(n-1)^h], \quad (6)$$

где $t^*(n)$ ($q^*(n)$) – текущее значение максимальной температуры (максимальной плотности теплового потока) на внутренней поверхности пакета на n -ном цикле теплового воздействия, °С (Вт/м²); t_p^* (q_p^*) – значение максимальной температуры (максимальной плотности теплового потока) на внутренней поверхности пакета, соответствующее состоянию пакета, при котором температура (плотность теплового потока) на внутренней поверхности пакета остается постоянной и не зависит от количества циклов теплового воздействия, °С (Вт/м²); t_1^* (q_1^*) – максимальная температура (максимальная плотность теплового потока) на внутренней поверхности пакета материалов на первом цикле теплового нагружения пакета, °С (Вт/м²); M (N) – тепловой параметр зависимости, цикл⁻¹; $n = 1, 2, 3, \dots$ – количество циклов теплового воздействия, цикл; d (h) – параметр нестационарности процесса изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов при испытаниях на устойчивость к многократному тепловому воздействию.

Основные результаты математического моделирования и эксперименталь-

ных исследований влияния многоциклового теплового воздействия на показатели теплофизических свойств пакета материалов БОП представлены на рисунке 6 [2, 3, 9].



1 – $q_n = 5000 \text{ Вт/м}^2$; 2 – $q_n = 4000 \text{ Вт/м}^2$; 3 – $q_n = 3000 \text{ Вт/м}^2$, 4 – $q_n = 2000 \text{ Вт/м}^2$
 — – результаты моделирования; ○ – экспериментальные данные

Рисунок 6. – Зависимость максимальной температуры (а) и плотности теплового потока (б) на внутренней поверхности пакета материалов от количества циклов теплового нагружения при различных уровнях теплового воздействия

В результате комплексного анализа результатов показано, что полученные математические зависимости (5), (6), описывающие изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов при испытаниях на устойчивость к многократному тепловому воздействию, адекватны результатам эксперимента, численные значения коэффициента детерминации в исследованном диапазоне тепловых нагрузок находятся в пределах от 0,98 до 0,99.

Произведён анализ влияния условий проведения испытаний на параметры математических зависимостей (5), (6), установлено, что численные значения параметров d и h практически одинаковы и стремятся к 1. Данный факт указывает на стационарность рассматриваемого процесса изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе многоциклового теплового воздействия [2–4, 9, 11].

Разработан методологический подход к исследованию влияния многоциклового нагружения на показатели теплофизических свойств пакетов материалов БОП.

Пятая глава посвящена исследованию изменения эксплуатационных свойств БОП в процессе многократного воздействия основных факторов износа и разработке методики определения безопасного срока службы БОП.

Реальные условия, которые БОП испытывает в процессе эксплуатации, моделировались при помощи лабораторных воздействий различными факторами износа. Нагружения проводились циклически и состояли из этапов механиче-

ских, тепловых и влажно-тепловых воздействий, действующих на материалы по отдельности, попарно и совместно.

Произведено обоснование комплекса показателей, характеризующих эксплуатационные свойства БОП. Введенные показатели определяют время, в течение которого температура на внутренней поверхности пакета материалов изменится на 50 °С при воздействии теплового потока плотностью 5000 Вт/м², что соответствует нормативным требованиям, и поэтому названы эксплуатационной устойчивостью пакета материалов к тепловому воздействию [6, 8].

Для теоретической интерпретации процесса снижения эксплуатационной устойчивости при многоцикловом воздействии эксплуатационных факторов использован основной физический принцип теории надёжности: «Скорость снижения эксплуатационной устойчивости пакета материалов dY/dn не зависит от того, как и за какое количество циклов нагружения факторами износа n она изменилась от некоторого начального значения Y_0 до текущего Y в рассматриваемый момент времени, а зависит от условий проведения испытания и теплофизических свойств материалов пакета».

В результате применения основного принципа теории надёжности получена математическая зависимость эксплуатационной устойчивости пакета материалов к тепловому воздействию от количества циклов нагружения факторами износа [6]:

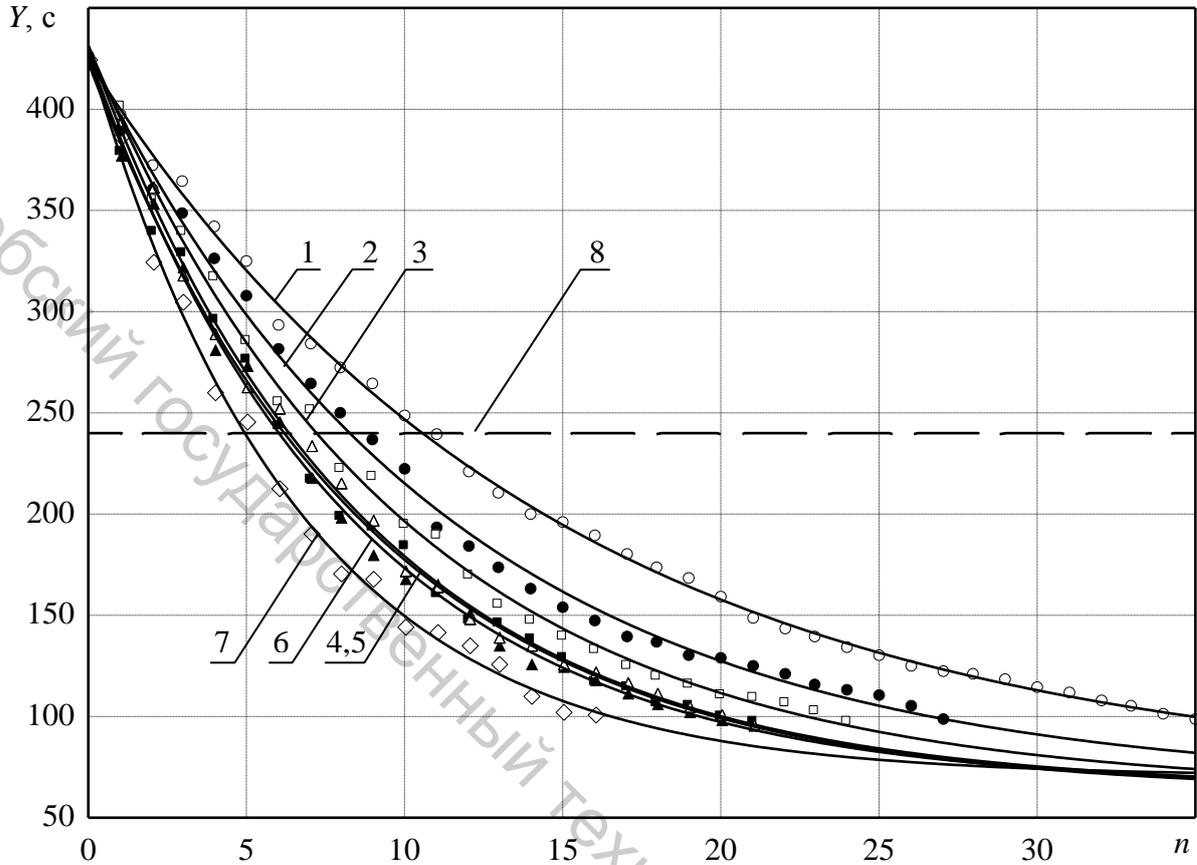
$$Y(n) = Y_p + (Y_0 - Y_p) \cdot \exp[-M \cdot n], \quad (7)$$

где $Y(n)$ – текущее значение эксплуатационной устойчивости к воздействию теплового потока пакета материалов БОП после n циклов нагружения, с; Y_0 – начальное значение эксплуатационной устойчивости к воздействию теплового потока пакета материалов БОП, с; Y_p – значение эксплуатационной устойчивости к воздействию теплового потока пакета материалов БОП, соответствующее состоянию пакета, при котором устойчивость материалов к воздействию теплового потока остается постоянной и не зависит от количества циклов нагружения, с; M – темповой параметр, цикл⁻¹; $n = 1, 2, 3, \dots$ – количество циклов нагружения материалов пакета различными факторами износа, цикл.

Основные результаты математического моделирования и экспериментальных исследований влияния многоцикловых воздействий основных факторов износа на эксплуатационную устойчивость пакета материалов представлены на рисунке 7 [6].

В результате комплексного анализа процесса изменения показателей эксплуатационных свойств пакета материалов БОП при циклическом нагружении различными факторами износа установлено, что математическая зависимость (7) адекватна результатам эксперимента, численные значения коэффициента детерминации для всех факторов износа равны 0,99. Численные значения парамет-

ров Y_p и Y_0 для всех исследованных факторов износа не зависит от условий проведения многоциклового испытания, а определяются теплофизическими свойствами материалов пакета [6, 10].



1 – стирка; 2 – многократный изгиб и истирание; 3 – тепловое воздействие; 4 – тепловое воздействие, стирка; 5 – многократный изгиб и истирание, стирка; 6 – тепловое воздействие, многократный изгиб и истирание; 7 – тепловое воздействие, многократный изгиб и истирание, стирка; 8 – уровень устойчивости пакета материалов к воздействию теплового потока, соответствующий нормативным требованиям
 — — результаты моделирования; ○ — экспериментальные данные

Рисунок 7. – Зависимость эксплуатационной устойчивости пакета материалов к воздействию теплового потока от количества циклов нагружения, моделирующих воздействие различных сочетаний факторов износа

Установлено, что для всех факторов износа численные значения эксплуатационной устойчивости Y_p соизмеримы с устойчивостью к воздействию теплового потока пакета материалов без учета верхнего слоя $Y_{б.в.}$

Можно отметить идентичный вид математических зависимостей (5), (6) и (7), полученных различными способами, что свидетельствует о правомерности выдвинутых гипотез и предположений при их построении.

Проведен анализ интенсивности процесса изменения эксплуатационной устойчивости пакета материалов БОП при многократном воздействии основных факторов износа, что позволило осуществить ранжирование факторов износа по степени влияния на показатели эксплуатационных свойств БОП. Пока-

зано, что наибольшее влияние оказывает комплексное воздействие трех факторов износа: теплового воздействия, многократного изгиба и истирания, стирки.

По результатам проведенных исследований разработана экспресс-методика определения безопасного срока службы БОП и совместно с А. А. Кузнецовым, Н. М. Дмитраковичем подготовлен для утверждения в Госстандарте Республики Беларусь проект СТБ «ОДЕЖДА БОЕВАЯ ПОЖАРНЫХ. Экспресс-метод определения безопасного срока службы».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации.

1. Впервые разработан аналитический метод расчёта температурных полей в многослойном пакете материалов с учётом зависимости показателей теплофизических свойств материалов от температуры при тепловом воздействии в процессе проведения нормативных испытаний, позволяющий на стадии проектирования состава пакета материалов для боевой одежды пожарных (БОП) осуществить их научно обоснованный выбор [5].

2. Обоснован комплекс показателей, характеризующих теплозащитные свойства пакета материалов БОП, и по результатам математического моделирования и экспериментальных исследований получена математическая зависимость времени безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных от плотности теплового воздействия, использование которой позволяет совершенствовать систему оценки технического состояния защитной одежды пожарных [1, 12–15].

3. На основании полученных экспериментальных зависимостей температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета при многоцикловом тепловом воздействии разработаны математические зависимости для прогнозирования максимальной температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета при испытаниях на устойчивость к многократному тепловому воздействию и методологический подход к исследованию влияния многоцикловых тепловых нагрузок на показатели теплофизических свойств пакетов материалов БОП [2–4, 9, 11].

4. Введен комплекс показателей, характеризующих изменение теплозащитных свойств боевой одежды пожарных при эксплуатации, и получены математические зависимости эксплуатационной устойчивости пакета материалов БОП к тепловому воздействию от количества циклов нагружения основными факторами износа, которые дают возможность осуществить прогнозирование безопасного срока службы защитной одежды пожарных. На основании полученных математических зависимостей проведено ранжирование факторов износа по степени их влияния на показатели эксплуатационных свойств боевой одежды пожарных [6, 8, 10].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

1. Разработана методика расчета температуры в многослойном пакете материалов для боевой одежды пожарных при нормативных испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию. Методика внедрена в производственных условиях РПУП «Униформ» (г. Микашевичи). Ожидаемый экономический эффект достигается за счет экономии материальных и временных затрат на проведение испытаний материалов, планируемых использовать для изготовления боевой одежды пожарных, и составляет 182 421 929 рублей для 100 комплектов в ценах на 01.05.2014 [Акт внедрения].

2. Разработана и внедрена на учреждении «НИЦ Витебского областного управления МЧС Республики Беларусь» методика оценки показателей, характеризующих теплозащитные свойства боевой одежды пожарных, по результатам кратковременных испытаний, применение которой позволяет осуществить прогноз времени безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных при различной плотности теплового воздействия [Акт внедрения].

3. Разработана экспресс-методика определения безопасного срока службы боевой одежды пожарных, которая реализуется без повреждения или разрушения образца и может применяться как для пакета материалов, так и для готового изделия. Подготовлен для утверждения в Госстандарте Республики Беларусь проект СТБ «ОДЕЖДА БОЕВАЯ ПОЖАРНЫХ. Экспресс-метод определения безопасного срока службы».

4. Результаты работы используются в учебном процессе кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» УО «ВГТУ» при чтении лекций, проведении лабораторных работ по курсам «Метрология, методы и приборы технических измерений», «Компьютерные системы конечноэлементных расчетов», «Основы компьютеризации технологий в системах автоматизации», о чем имеются соответствующие акты внедрения в учебный процесс.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи:

1. Гусаров, А. М. Совершенствование системы оценки теплозащитных свойств пакетов огнестойких материалов / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов, Н. М. Дмитракович // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. – 2011. – Вып. 21. – С. 46–52.

2. Гусаров, А. М. Исследования устойчивости пакета материалов боевой одежды пожарного к многоциклового тепловому воздействию / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов, Н. М. Дмитракович // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. – 2012. – Вып. 22. – С. 39–47.

3. Гусаров, А. М. Прогнозирование температуры на внутренней поверхности пакета материалов боевой одежды пожарного при многоциклового тепловом

воздействии / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов, Н.М. Дмитрикович // Чрезвычайные ситуации : предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2. – С. 171–180.

4. Гусаров, А. М. Использование метода динамического индентирования для комплексной оценки материала верха боевой одежды пожарных при многоцикловом тепловом воздействии / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов, Н. М. Дмитрикович // Чрезвычайные ситуации : предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2. – С. 140–147.

5. Гусаров, А. М. Исследование распределения температуры в многослойном пакете материалов боевой одежды пожарных при тепловом воздействии / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов, Н. М. Дмитрикович, С. М. Данилова-Третьяк // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2014. – № 4. – С. 87–92.

6. Гусаров, А. М. Влияние основных эксплуатационных факторов на теплозащитные свойства боевой одежды пожарных / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2015. – Т. 28, № 2. – С. 49–53.

Материалы конференций:

7. Гусаров, А. М. Влияние многоциклового тепловой нагрузки на прочностные характеристики материала верха боевой одежды пожарных / А. М. Гусаров, Н. М. Дмитрикович, А. А. Кузнецов // Чрезвычайные ситуации: теория и практика : материалы международной научно-практической конференции курсантов, студентов, магистрантов, адъюнктов и аспирантов, Гомель, 28 апреля 2011 г. : в 2 ч. / УО "Гомельский инженерный институт" МЧС Республики Беларусь, Гомельский филиал Национальной академии наук Беларуси. – Гомель, 2011. – Ч. 1. – С. 57–60.

8. Гусаров, А. М. Комплексная оценка теплозащитных свойств пакета материалов для специальной защитной одежды пожарных / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов, И. А. Петюль // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость : материалы IV Международной научно-практической конференции, Минск, 19-20 мая 2011 г. : в 2 т. / М-во образования Республики Беларусь, УО "Белорус. гос. экон. ун-т" ; [редкол.: В. Н. Шимов (отв. ред.) и др.]. – Минск : БГЭУ, 2011. – Т. 2. – С. 257–258.

9. Гусаров, А. М. Исследование теплозащитных свойств одежды пожарных / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов // Межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов "Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности" (Поиск-2012) : сборник материалов, 23–25 апреля 2012 г. : в 2 ч. / ИГТА. – Иваново, 2012. – Ч. 2. – С. 94–96.

10. Гусаров, А. М. Влияние многоциклового тепловой нагрузки на время безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов // Международная научно-техническая конференция "Современные

наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности" (Прогресс-2012) : сборник материалов, 30 мая – 1 июня 2012 г. : в 2 ч. / ФГБОУ ВПО "ИГТА". – Иваново, 2012. – Ч. 1. – С. 197–198.

11. Гречишников, Е. А. Многоцикловая тепловая нагрузка и теплозащитные свойства пакета материалов боевой одежды пожарных / Е. А. Гречишников, Е. В. Мацкевич, А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы международной научно-практической конференции, Гомель, 24–25 мая 2012 г. : в 2 ч. / ГУО "Гомельский инженерный институт" МЧС Республики Беларусь, Гомельский филиал Национальной академии наук Беларуси. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 155–156.

12. Дмитракович, Н. М. Количественная оценка защитных свойств материалов специальной защитной одежды / Н. М. Дмитракович, А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы международной научно-практической конференции, Гомель, 24–25 мая 2012 г. : в 2 ч. / ГУО "Гомельский инженерный институт" МЧС Республики Беларусь, Гомельский филиал Национальной академии наук Беларуси. – Гомель, 2012. – Ч.1. – С. 160–161.

13. Русецкий, Ю. Г. Прогнозирование времени безопасной эксплуатации пакета огнестойких материалов / Ю. Г. Русецкий, Н. М. Дмитракович, А. М. Гусаров и др. // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы международной научно-практической конференции, Гомель, 24–25 мая 2012 г. : в 2 ч. / ГУО "Гомельский инженерный институт" МЧС Республики Беларусь, Гомельский филиал Национальной академии наук Беларуси. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 225.

Тезисы докладов:

14. Гусаров, А. М. Совершенствование условий проведения исследований по оценке защитных свойств одежды пожарных / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов // Тезисы докладов 44 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО "ВГТУ". – Витебск, 2011. – С. 208–209.

15. Гусаров, А. М. Оценка времени безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных при различном уровне теплового воздействия / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов // Тезисы докладов 49 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО "ВГТУ". – Витебск, 2016. – С. 131–132.

РЕЗЮМЕ

Гусаров Алексей Михайлович

Оценка и прогнозирование показателей теплофизических свойств пакетов для боевой одежды пожарных

Ключевые слова: пакет материалов, боевая одежда пожарных, показатели теплофизических свойств, прогнозирование, методика, срок службы.

Объектом исследований являются пакеты материалов, применяемые при изготовлении боевой одежды пожарных для подразделений МЧС Республики Беларусь.

Цель работы – разработка научно обоснованных методов оценки и прогнозирования показателей теплофизических свойств пакетов для боевой одежды пожарных.

Методология исследования: оценка и прогнозирование показателей теплофизических свойств пакетов для боевой одежды пожарных основывались на результатах теоретических и экспериментальных исследований с использованием методов математического моделирования, математической статистики и программирования. Обработка результатов исследований осуществлялась с использованием ЭВМ.

Полученные результаты и их новизна: разработана методика оценки показателей, характеризующих теплозащитные свойства боевой одежды пожарных, по результатам кратковременных испытаний; разработана экспресс-методика определения безопасного срока службы боевой одежды пожарных. Научная новизна работы заключается в разработке аналитического метода расчёта температурных полей в многослойном пакете материалов с учётом зависимости показателей теплофизических свойств материалов пакета от температуры при тепловом воздействии в процессе проведения нормативных испытаний; установлении математической зависимости времени безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных от плотности теплового воздействия; получении математических зависимостей эксплуатационной устойчивости пакета материалов боевой одежды пожарных к тепловому воздействию от количества циклов нагружения основными факторами износа.

Рекомендации по использованию: методика расчета температуры в многослойном пакете материалов боевой одежды пожарных при нормативных испытаниях внедрена в производственных условиях РПУП «Униформ» (г. Микашевичи). Методика оценки показателей, характеризующих теплозащитные свойства боевой одежды пожарных, по результатам кратковременных испытаний внедрена в учреждении «НИЦ Витебского областного управления МЧС Республики Беларусь».

Область применения: производство защитной одежды пожарных.

РЭЗІЮМЕ

Гусараў Аляксей Міхайлавіч

Ацэнка і прагназаванне паказчыкаў цеплафізічных уласцівасцяў пакетаў для баявога адзення пажарных

Ключавыя словы: пакет матэрыялаў, баявое адзенне пажарных, паказчыкі цеплафізічных уласцівасцяў, прагназаванне, методыка, тэрмін службы.

Аб'ектам даследаванняў з'яўляюцца пакеты матэрыялаў, якія ўжываюцца пры вырабе баявога адзення пажарных для падраздзяленняў МНС Рэспублікі Беларусь.

Мэта працы – распрацоўка навукова абгрунтаваных метадаў ацэнкі і прагназавання паказчыкаў цеплафізічных уласцівасцяў пакетаў для баявога адзення пажарных.

Метадалогія даследавання: ацэнка і прагназаванне паказчыкаў цеплафізічных уласцівасцяў пакетаў для баявога адзення пажарных грунтаваліся на выніках тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў з выкарыстаннем метадаў матэматычнага мадэлявання, матэматычнай статыстыкі і праграмавання. Апрацоўка вынікаў даследаванняў ажыццяўлялася з выкарыстаннем ЭВМ.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана методыка ацэнкі паказчыкаў, якія характарызуюць цеплаахоўныя ўласцівасці баявога адзення пажарных, па выніках кароткачасовых выпрабаванняў; распрацавана экспрэс-методыка вызначэння бяспечнага тэрміну службы баявога адзення пажарных. Навуковая навізна працы складаецца ў распрацоўцы аналітычнага метаду разліку тэмпературных палёў у шматслаёвым пакеце матэрыялаў з улікам залежнасці паказчыкаў цеплафізічных уласцівасцяў матэрыялаў пакета ад тэмпературы пры цеплавым уздзеянні падчас правядзення нарматыўных выпрабаванняў; усталяванні матэматычнай залежнасці часу бяспечнай эксплуатацыі баявога адзення пажарных ад шчыльнасці цеплавога ўздзеяння; атрымання матэматычных залежнасцяў эксплуатацыйнай ўстойлівасці пакета матэрыялаў баявога адзення пажарных да цеплавога ўздзеяння ад колькасці цыклаў нагружэння асноўнымі фактарамі зносу.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: методыка разліку тэмпературы ў шматслаёвым пакеце матэрыялаў баявога адзення пажарных пры нарматыўных выпрабаваннях ўкаранёна ў вытворчых умовах РВУП «Уніформ» (г. Мікашэвічы). Методыка ацэнкі паказчыкаў, якія характарызуюць цеплаахоўныя ўласцівасці баявога адзення пажарных, па выніках кароткачасовых выпрабаванняў ўкаранёна ва ўстанове «НДЦ Віцебскага абласнога ўпраўлення МНС Рэспублікі Беларусь».

Галіна выкарыстання: вытворчасць ахоўнага адзення пажарных.

SUMMARY

Gusarov Aleksei Mihailovich

Estimation and prediction of indexes of thermophysical properties of fabric assemblies for fire fighter's protective clothing

Keywords: fabric assemblies, fire fighter's protective clothing, indexes of thermophysical properties, prediction, method, operational life time.

Object of research: packages of materials applied at manufacturing of fire fighter's protective clothing for subdivisions the Ministry for Emergency Situation of the Republic of Belarus.

Purpose of research: development of the scientific-grounded methods of estimation and prediction of indexes of thermophysical properties of fabric assemblies for fire fighter's protective clothing.

Methods of research: estimation and prediction of indexes of thermophysical properties of fabric assemblies for fire fighter's protective clothing was based on the results of the theoretical and experimental research using the methods of mathematical modeling, mathematical statistics and programming. Processing the results of research was carried out with special software.

The results and their novelty: the method of estimation of indexes characterizing heat-protective properties of fire fighter's clothing is developed using results of brief tests; the express-method of determination of accident-free operational life time of fire fighter's protective clothing is developed. The scientific novelty of work consists of development of analytical method of calculation of the temperature fields in the multi-layered fabric assemblies taking into account dependence of indexes of thermophysical properties of fabric assemblies on temperature during normative tests; establishing mathematical dependence of accident-free operation of fire fighter's protective clothing on the density of heat exposure; obtaining mathematical dependences of the operational stability of fabric assemblies for fire fighter's protective clothing thermal influence on the number of loading cycles of the main factors of deterioration.

Recommendation for application: the method of calculation of temperature in the multi-layered fabric assemblies for fire fighter's protective clothing during normative tests is implemented in the production conditions of RPUP «Uniform» (Mikashevichi). The method of estimation of heat-protective properties indexes of fire fighter's clothing using results of brief tests is implemented in establishment «Research center of Vitebsk regional management of the Ministry for Emergency Situation of the Republic of Belarus».

Fields of Application: manufacturing of protective clothing for firefighters.

ГУСАРОВ АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ ДЛЯ
БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.10.16. Формат 60×90 1/16. Печать ризографическая.
Уч.-изд. л. 1,74. Усл. печ. л. 1,75. Тираж 90 экз. Заказ 329.

Отпечатано на ризографе ЦИТ УО «ВГТУ».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 года
210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.