

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

УДК 677.017.56

**ГУСАРОВ  
АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**

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

Диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.19.01 – «Материаловедение производств текстильной и  
лёгкой промышленности»

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
Кузнецов А.А.

Библиотека ВГТУ



Витебск, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ .....	6
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	7
ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1. Общие сведения о специальной защитной одежде пожарных.....	11
1.2. Общая характеристика материалов, используемых при изготовлении боевой одежды пожарных.....	14
1.3. Анализ требований к показателям теплофизических свойств материалов боевой одежды пожарных и методы их оценки.....	22
1.4. Анализ методов оценки показателей качества материалов и их пакетов боевой одежды пожарных при эксплуатации .....	34
1.5. Основные направления совершенствования системы оценки теплозащитных свойств специальной защитной одежде пожарных.....	39
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	42
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В МНОГОСЛОЙНОМ ПАКЕТЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	43
2.1. Методы расчета процесса теплопередачи в условиях нестационарной теплопроводности.....	44
2.1.1. Особенности переноса тепла через текстильные материалы.....	44
2.1.2. Анализ методов решения уравнений теплопроводности .....	49
2.2. Зональный метод расчета процесса теплопереноса в многослойном пакете материалов боевой одежды пожарных .....	53
2.2.1. Физико-математическая постановка задачи о теплопередаче через многослойный пакет материалов боевой одежды пожарных в условиях нестационарной теплопроводности при несимметричных граничных условиях ..	53
2.2.2. Аналитическое решение задачи теплопередачи для наружного слоя пакета материалов боевой одежды пожарных в условиях нестационарной теплопроводности.....	57
2.2.3. Аналитическое решение задачи теплопередачи для промежуточных слоев пакета материалов боевой одежды пожарных в условиях нестационарной теплопроводности.....	62

2.2.4. Аналитическое решение задачи теплопередачи для внутреннего слоя пакета материалов боевой одежды пожарных в условиях нестационарной теплопроводности.....	67
2.2.5. Алгоритм расчета распределения температуры в многослойном пакете материалов при испытаниях на устойчивость к тепловому воздействию, с учетом зависимости показателей теплофизических свойств материалов пакета от температуры .....	73
2.2.6. Определение рациональных режимов моделирования процесса теплопереноса в многослойном пакете материалов боевой одежды пожарных.....	78
2.3. Исследование процессов теплопереноса в многослойном пакете материалов для боевой одежды пожарных при несимметричных граничных условиях.....	82
2.3.1. Оценка параметров математических моделей процесса теплопереноса в многослойном пакете материалов боевой одежды пожарных .....	84
2.3.2. Исследования распределения температуры в многослойном пакете материалов для боевой одежды пожарных при различном тепловом воздействии	89
<b>ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....</b>	<b>95</b>
<b>ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....</b>	<b>96</b>
3.1. Теоретическое обоснование показателей, характеризующих теплозащитные свойства боевой одежды пожарных при различном уровне теплового воздействия.....	96
3.2. Экспериментальные исследования закономерностей изменения теплозащитных показателей пакета материалов боевой одежды пожарных при различном уровне теплового воздействия .....	100
3.2.1. Комплексное исследование процесса теплопереноса в пакете материалов и определение времени безопасной эксплуатации боевой одежды пожарных .....	100
3.2.2. Методика оценки показателей, характеризующих теплозащитные свойства боевой одежды пожарных, по результатам кратковременных испытаний на устойчивость к тепловому воздействию .....	106
3.2.3. Типовой расчет показателей, характеризующих теплозащитные свойства боевой одежды пожарных, по результатам кратковременных испытаний .....	109
3.3. Исследование теплозащитных свойств пакетов материалов для боевой одежды пожарных с различным теплоизоляционным слоем.....	112
<b>ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....</b>	<b>117</b>

## ГЛАВА 4 КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАКЕТА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ В ПРОЦЕССЕ МНОГОЦИКЛОВОГО ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ..... 118

4.1. Теоретический анализ закономерностей изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе многоциклового теплового воздействия..... 118

4.1.1. Разработка вероятностных математических моделей изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе многоциклового теплового воздействия..... 119

4.1.2. Разработка математических моделей изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе многоциклового теплового воздействия с использованием основного принципа теории надёжности проф. Н.М. Седякина ..... 124

4.2. Экспериментальные исследования закономерностей изменения показателей теплофизических свойств пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе испытания на устойчивость к многократному тепловому воздействию..... 126

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4..... 138

## ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОГО СРОКА СЛУЖБЫ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ..... 139

5.1. Теоретический анализ закономерностей изменения эксплуатационных свойств боевой одежды пожарных в процессе многократного воздействия основных факторов износа ..... 140

5.1.1. Общие сведения об износостойкости текстильных изделий и критериях оценки износа..... 140

5.1.2. Разработка вероятностных математических моделей изменения эксплуатационной устойчивости к воздействию теплового потока пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе многократного воздействия основных факторов износа ..... 144

5.1.3. Разработка математических моделей изменения эксплуатационной устойчивости к воздействию теплового потока пакета материалов боевой одежды пожарных в процессе многократного воздействия различных факторов износа с использованием основного принципа теории надёжности проф. Н.М. Седякина 147

5.2. Экспериментальные исследования закономерностей изменения эксплуатационной устойчивости к воздействию теплового потока пакета

материалов боевой одежды пожарных при многократном воздействии основных факторов износа .....	149
5.3. Экспресс-методика определения безопасного срока службы боевой одежды пожарных при эксплуатации.....	158
5.4. Типовой расчет безопасного срока службы боевой одежды пожарных при эксплуатации .....	163
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5.....	166
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	167
Основные научные результаты диссертации.....	167
Рекомендаций по практическому использованию результатов.....	168
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	169
Список использованных источников.....	169
Список публикаций соискателя .....	182
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	185
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	190
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	196
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	204
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	208
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	210
ПРИЛОЖЕНИЕ И.....	214
ПРИЛОЖЕНИЕ К.....	215
ПРИЛОЖЕНИЕ Л.....	217
ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	226

## ВВЕДЕНИЕ

Среди технических средств обеспечения безопасных условий труда для работников опасных профессий (военнослужащих, сотрудников МЧС и т.д.) доминирующую роль играет специальная защитная одежда, являющаяся последним барьером, который способен сохранить жизнь и здоровье людей. Одним из главных вопросов, решаемых при создании защитной одежды, является оптимальный выбор тканей и материалов для каждого вида одежды на основании учета поражающих факторов [1–3].

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.