



**БУЛАНОВ ЯРОСЛАВ ИГОРЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ  
БАЛЛИСТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 05.19.01 - Материаловедение производств  
текстильной и легкой промышленности

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре Материаловедения и товарной экспертизы федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)».

Научный руководитель Шустов Юрий Степанович,  
заведующий кафедрой Материаловедения и товарной экспертизы федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»), доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты Киселев Михаил Владимирович,  
доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Института автоматизированных систем и технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Костромской государственной университет (КГУ)»

Сафонов Павел Евгеньевич,  
кандидат технических наук,  
научный сотрудник ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»

Ведущая организация Общество с ограниченной ответственностью  
Научно-производственное предприятие  
«Термостойкий текстиль»  
(ООО НПП «ТЕРМОТЕКС»)

Защита диссертации состоится «15» июня 2017 года в 14.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.06 в ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» и на сайте университета <http://www.mgudt.ru/>.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



Е.А. Кирсанова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Особую актуальность в последнее время приобретают вопросы обеспечения личной безопасности каждого человека. Для людей, профессиональная деятельность которых в большей степени относится к «группе риска», одежда специального назначения является средством индивидуальной защиты.

Номенклатура средств индивидуальной защиты достаточно обширна, однако последним защитным рубежом между средством поражения и телом человека остается бронежилет, который должен обеспечивать надлежащий уровень безопасности и комфортности. Следовательно, правильный выбор текстильных материалов для создания бронежилетов способствует созданию высококачественных изделий, отвечающих конкретным условиям эксплуатации, назначению и потребительским предпочтениям.

Одной из важнейших задач создания современных средств индивидуальной бронезащиты является разработка оптимальных материалов, позволяющих эффективно противодействовать поражающим факторам общевойскового боя, а также преступным посягательствам в мирное время.

Большое количество преступлений, совершенных с использованием холодного оружия и иными колющими и режущими предметами, в разного рода конфликтах, местах лишения свободы и т.д. ставит задачу по изучению антипрокольных и антипрорезных свойств и разработке все более эффективных средств защиты преимущественно от холодного оружия и предметов, их имитирующих. В связи с вышесказанным, разработка методов оценки и прогнозирования физико-механических свойств тканей баллистического назначения является актуальной задачей.

### Цель и задачи исследования

Целью данной работы является разработка методик оценки и прогнозирования стойкости к холодному оружию баллистических тканей и бронепакетов в статических и динамических условиях.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Исследование в статических условиях усилия прокола и нагрузки при прорезании тканей баллистического назначения с учетом влажности, скорости движения индентора, количества и комбинации слоев.

- Разработка установки и методики оценки для определения стойкости к прокалыванию и прорезанию пакетов из баллистических тканей в динамических условиях.

- Проведение испытаний по определению стойкости к прокалыванию и прорезанию пакетов из баллистических тканей в динамических условиях.

- Исследование влияния поверхностной обработки тканей баллистического назначения на усилие прокола при испытаниях в статических и динамических условиях.

- Разработка методики прогнозирования усилия прокола и нагрузки при прорезании тканей в зависимости от воздействия различных факторов.

- Выбор оптимального по свойствам бронепакета.
- Разработка рекомендаций по внесению изменений в ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования».

### **Методы исследования**

Экспериментальные исследования проводились с использованием разработанных методов в лабораторных условиях. Для обработки результатов эксперимента в исследованиях использовались численные методы прикладной математики и математической статистики. В качестве теоретической основы применялись теория подобия и анализа размерностей. Построение функциональных зависимостей осуществлялось на ЭВМ с помощью программы Microsoft Excel. Для обработки фотографий объектов исследований применялась программа Photoshop.

### **Научная новизна работы**

При проведении теоретических и экспериментальных исследований автором впервые:

- Сформулированы определения антипрокольного и антипрорезного свойства ткани.
- Исследована механика проникновения инденторов, имитирующих холодное оружие, сквозь ткань.
- Выработаны рекомендации по выбору структуры тканей для защиты от холодного оружия.
- Разработана методика нанесения на поверхность ткани спиртового раствора канифоли.
- Исследовано влияние поверхностной обработки пакетов тканей баллистического назначения на усилие прокола.

### **Практическая значимость работы** заключается в том, что

- Разработана методика оценки стойкости к прокалыванию и прорезанию пакетов из баллистических тканей в статических и динамических условиях.
- Разработана установка для определения стойкости к прокалыванию и прорезанию пакетов из баллистических тканей в динамических условиях.
- Проведены испытания по определению стойкости к прокалыванию и прорезанию пакетов из баллистических тканей в статических и динамических условиях.
- Выбран оптимальный по свойствам бронепакет.
- Разработаны рекомендации по внесению изменений в ГОСТ Р 50744-95.
- Получены математические модели, позволяющие прогнозировать усилие прокола и нагрузку при прорезании в зависимости от различных факторов.

Результаты исследований могут быть использованы на текстильных предприятиях при проектировании тканей для защиты от холодного оружия, что позволит значительно улучшить показатели безопасности бронезилов.

### **Апробация работы**

Основные результаты научных исследований докладывались и получили положительную оценку на:

1. Международной научной конференции «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности», Витебск, 2013.

2. Всероссийской выставке «Инновационный потенциал молодых ученых российских регионов» в рамках празднования 150-летия со дня рождения В.И. Вернадского (г. Королев), 2013.

3. Международной научно-технической конференции Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ - 2015).

4. Всероссийской научной студенческой конференции Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2015).

5. III ежегодной национальной выставке – форуме «Вузпромэкспо-2015».

6. Всероссийской инновационной молодежной научно-инженерной выставке «Политехника – 2015».

7. Всероссийском конкурсе молодежных проектов «Инновационное развитие организаций в условиях импортозамещения», 2016.

8. Всероссийской научной студенческой конференции Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2017).

### Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 11 печатных работ, в том числе 7 статей в журналах ВАК.

### Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов. Работа выполнена на 169 страницах машинописного текста, содержит 102 рисунка, 20 таблиц, список литературы из 111 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Во введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, ее новизна и практическая значимость, определены объекты исследования.

*В первой главе* проведен анализ средств индивидуальной защиты. Рассмотрены первоочередные задачи в области разработки новых материалов и средств индивидуальной бронезащиты. Изучены показатели качества бронезилов. Приведена классификация холодного оружия и некоторые конструктивные особенности. Рассмотрены стандарты на защиту от холодного оружия. Предложены определения антипрокольного и антипрорезного свойств:

1. Антипрокольное свойство – это способность материала, сохранять целостность структуры, тем самым выдерживать максимальное усилие прокола, при воздействии на материал различных предметов, особенностью конструкции которых является малая площадь ударной поверхности (шило, отвертка, игла, и т.д.).

2. Антипрорезное свойство – это способность материала, сохранять целостность структуры, тем самым выдерживать максимальное усилие прореза, при воздействии на материал различных предметов, особенностью конструкции которых предусмотрено наличие одной или двух режущих поверхностей (нож, заточка, кинжал, и т.д.).

Проанализированы научные работы по изучению свойств баллистических тканей.

**Вторая глава** посвящена исследованию влияния влажности тканей баллистического назначения, скорости движения индентора и количества слоев на усилие прокола и нагрузку при прорезании.

В качестве объектов исследования были выбраны 5 артикулов баллистических тканей, которые наиболее распространены для изготовления средств индивидуальной защиты. Ткани выработаны из нитей Русар. Структурные характеристики исследуемых тканей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Структурные характеристики тканей для бронежилетов

Показатель качества	Обозначение	арт. 86144	арт. 86136	арт. 86294	арт. 53631	арт. 84127
Толщина, мм	$b$	0,27	0,26	0,27	0,30	0,23
Линейная плотность нитей основы, текс	$T_o$	55,0	61,0	29,5	62,0	34,0
Линейная плотность нитей утка, текс	$T_y$	55,0	60,0	29,5	60,0	32,0
Плотность ткани по основе, число нитей / 10 см	$P_o$	150	130	270	150	240
Плотность ткани по утку, число нитей / 10 см	$P_y$	140	140	240	150	210
Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	$M_1$	164,5	168,4	152,6	187,0	152,0
Переплетение		Саржевое	Атласное	Полотняное	Вафельное	Полотняное

Ткани из параарамидных нитей используются для изготовления средств индивидуальной бронезащиты, которые должны обеспечивать защиту как от огнестрельного, так и от холодного оружия. В ГОСТ Р 50744-95 средством поражения является штык-нож к автомату АК-74 и его модификациям. Данное средство поражения по механике проникновения исключает прокол, а ткани для бронежилетов должны обеспечивать защиту не только от прорезания, но и от прокалывания. Поэтому для более полного изучения механики проникновения поражающих элементов сквозь ткань, необходимо использовать различные виды инденторов.

В работе были проведены исследования усилия прокола и нагрузки при прорезании для различных видов тканей при изменении влажности, скорости движения индентора и количества слоев. Исследования проводились в статических условиях на универсальной испытательной системе «Инстрон» серии 4411. Для проведения испытаний был изготовлен специальный зажим и инденторы, имитирующие колющие и режущие предметы.

Для прорезания и прокалывания были изготовлены инденторы в виде однозаточенного и двухзаточенного ножей, а также пики (рисунок 1, а, б, в).



Рисунок 1 – Инденторы:

а) нож с одним острым краем; б) нож с двумя острыми краями; в) пика

В результате исследования выявлено, что с увеличением количества слоев усилие прокола и нагрузка при прорезании увеличиваются, а с увеличением влажности – уменьшаются. С увеличением скорости движения индентора усилие прокола и нагрузка при прорезании увеличиваются.

Геометрия насадок оказывает существенное влияние на усилие прокола, нагрузку при прорезании и стрелу прогиба образцов.

Наличие одного режущего лезвия у ножа и большей площадью поперечного сечения по сравнению с пикой приводит к увеличению нагрузки при прорезании. Механика проникновения ножа существенно отличается от механики проникновения индентора в виде пики. При проникновении ножа ткань вначале удлиняется, а в дальнейшем происходит раздвижка нитей с одновременным их разрезанием, что и оказывает основное сопротивление ткани проникновению индентора, в отличие от пики, которая только раздвигает нити без разрушения. При проколе индентор в виде пики практически не повреждает нити, так как совокупность наличия заточенного наконечника и малой площади поперечного сечения позволяет раздвигать нити, не повреждая их, что значительно снижает усилие прокола, что по механике воздействия на ткань сильно отличает ее от воздействия при прорезании.

Структурные характеристики тканей оказывают влияние на усилие прокола и нагрузку при прорезании. Для улучшения этих показателей необходимо использовать наиболее оптимальные виды переплетений, которые обеспечивают максимальные показатели стойкости к проколу и прорезанию.

Наилучшими характеристиками обладает ткань арт. 86294, а наихудшими – арт. 86136. Однако величина этих показателей не достаточна для обеспечения безопасности человека.

Для обеспечения безопасности необходимо использовать комплексный подход при формировании оптимального бронепакета, защищающего как от прокола, так и от прорезания. Данный пакет можно использовать как составную часть бронепакета для защиты от огнестрельного оружия, так как ткани, используемые для

защиты от огнестрельного оружия, не обеспечивают защиту от холодного оружия или иных предметов, которыми при помощи мускульной силы человека можно нанести вред здоровью или причинить смерть.

В *третьей главе* приведены результаты исследования различных видов баллистических тканей для защиты от холодного оружия. Проведена поверхностная обработка антипрокольных тканей спиртовым раствором канифоли. Проведены испытания тканей в динамических условиях.

Экспериментально установлено, что для эффективной защиты от холодного оружия, недостаточно использовать в бронежилете только материалы, имеющие основной своей функцией защиту от огнестрельного оружия. Поэтому для дальнейшего исследования были выбраны ткани, которые по своим свойствам лучше противодействуют усилию прокола и прореза.

В работе исследовалось влияние вида нитей, переплетения, количества слов и их комбинации на усилие прокола и нагрузку при прорезании баллистических тканей.

В таблице 2 приведены структурные характеристики исследуемых образцов антипрорезных тканей.

Таблица 2 – Структурные характеристики антипрорезных тканей

Наименование показателя	Номер ткани				
	1	2	3	4	5
Линейная плотность нитей основы и утка, текс	60	60	29,4	60	14,3
Плотность ткани по основе, число нитей / 10 см	200	140	200	120	240
Плотность ткани по утку, число нитей / 10 см	220	130	100	130	270
Толщина, мм	0,43	0,38	0,40	0,40	0,16
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	252,0	162,0	88,2	150,0	72,9
Вид нити	Комплексная нить + пряжа	Пряжа	Комплексная нить	Комплексная нить + пряжа	Комплексная нить
Переплетение	Атласное	Саржевое	Атласное	Саржевое	Атласное

В таблице 3 приведены результаты определения нагрузки при прорезании исследуемых тканей баллистического назначения.



Таблица 3 – Результаты определения нагрузки при прорезании исследуемых тканей баллистического назначения

Количество слоев	Ткань 1	Ткань 2	Ткань 3	Ткань 4	Ткань 5
1	2,4	8,3	5,6	11,2	5,2
2	4,4	16,5	13,6	21,0	9,8
4	7,4	34,0	23,2	35,3	18,4
8	40,0	89,4	42,0	79,3	32,0

Зависимость нагрузки при прорезании исследуемых тканей баллистического назначения от количества слоев приведена на рисунке 2.

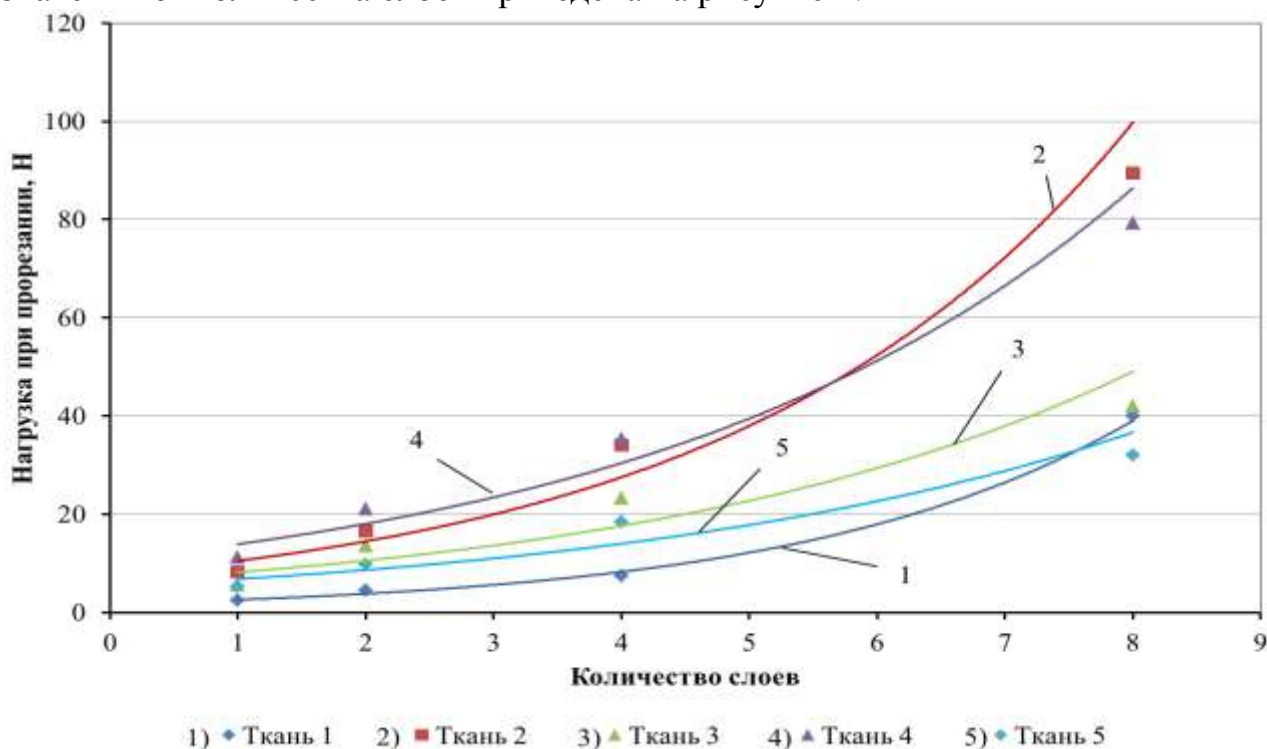


Рисунок 2 – Зависимость нагрузки при прорезании исследуемых тканей баллистического назначения от количества слоев

Из графика видно, что наилучшей стойкостью к прорезанию обладает ткань № 2 саржевого переплетения, выработанная из пряжи. Во время прорезания ножом пряжа опутывает лезвие насадки, что становится препятствием для проникновения индентора. Это связано с тем, что пряжа имеет шероховатость из-за крутки и вышедших на поверхность концов волокон. Нити, распределяясь по всей режущей площади лезвия, не только тормозят, но и снижают остроту режущей поверхности. Данное полотно также обладает минимальной стрелой прогиба на максимум приложенной силы.

Для изучения антипрокольных свойств были выбраны ткани, структурные характеристики которых приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Структурные характеристики антипрокольных тканей

Наименование показателя	Ткань	
	1	2
Линейная плотность нитей основы и утка, текс	29,4	58,8
Плотность ткани по основе, число нитей / 10 см	260	200
Плотность ткани по утку, число нитей / 10 см	220	190
Толщина, мм	0,29	0,37
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	141,1	229,3
Вид нити	Комплексная нить	Комплексная нить
Переплетение	Полотняное	Полотняное

Результаты испытаний приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты определения усилия прокола тканей

Наименование показателей	Количество слоев			
	1	2	4	8
Ткань, выработанная из комплексных нитей линейной плотности 29,4 текс				
Усилие прокола, Н	21,5	42,2	92,0	182,1
Стрела прогиба, мм	4,8	3,95	3,60	3,00
Ткань, выработанная из комплексных нитей линейной плотности 58,8 текс				
Усилие прокола, Н	17,3	43,6	95,7	155,61
Стрела прогиба, мм	3,93	3,75	2,88	2,72

На основании экспериментальных данных, полученных при испытаниях тканей с разным количеством слоев, установлено, что с увеличением количества слоев увеличивается усилие прокола. Однако 8 слоев не достаточно для обеспечения оптимальной защиты. В связи с этим количество слоев было увеличено до 40.

Результаты испытаний приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты определения усилия прокола при увеличенном количестве слоев

Слой	Ткань из нитей 29,4 текс		Ткань из нитей 58,8 текс	
	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм
1	21,5	5,8	17,3	3,63
20	345,3	4,8	289,5	2,7
30	680,0	4,3	411,4	2,4
40	793 ... деформация индентора	4,0	601,0	2,2

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что ткань из нитей 29,4 текс обладает наилучшими прочностными свойствами к воздействию прокола. Необходимо отметить, что при максимальном количестве слоев равном 40 произошла деформация индентора, в связи с чем дальнейшее увеличение коли-

чества слоев не целесообразно. Учитывая вышесказанное, дальнейшие исследования проводились только на этом образце.

Индентор в виде пики, представляет собой насадку определенной длины и цилиндрической формы с гладкой поверхностью, малого радиуса в поперечном сечении, с острым наконечником. Данная конструкция индентора позволяет ему с легкостью проникать в ткань, используя острый наконечник для первоначального нарушения целостности ткани, а затем за счет гладкой поверхности, что сильно уменьшает сопротивление ткани, проскальзывает вдоль поперечника бронепакета, так как сила трения нитей о гладкое металлическое основание индентора не дает возможности для его дальнейшего торможения.

Исходя из анализа конструкции индентора, выполненного в виде пики и поведения ткани при нарушении ее целостности индентором, выявлено, что для улучшения прочностных свойств бронепакета, в частности антипрокольной характеристики, необходимо использовать ткань с наибольшей плотностью нитей как по основе, так и по утку, на единицу длины.

Для улучшения антипрокольных характеристик предложена обработка поверхности ткани спиртовым раствором канифоли различной концентрации.

Испытания по определению усилия прокола проводились для 1 слоя ткани и пакетов тканей, состоящих из 2 и 4 слоев однородной ткани, обработанной спиртовым раствором канифоли различной концентрации. Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты определения усилия прокола ткани после обработки спиртовым раствором канифоли различной концентрации

Слой	Усилие прокола, Н	Изменение, %
Без обработки		
1	21,5	0
2	52,1	0
4	91,4	0
Раствор канифоли 1%		
1	22,4	4,2
2	58,0	11,3
4	109,3	19,6
Раствор канифоли 5%		
1	41,8	94,4
2	102,7	97,1
4	143,0	56,5
Раствор канифоли 10%		
1	66,6	209,8
2	151,0	189,8
4	183,7	101,0
Раствор канифоли 15%		
1	71,2	231,2
2	168,0	222,5
4	193,6	111,8
Раствор канифоли 20%		
1	75,4	250,7
2	176,0	237,8
4	196,8	115,3

На рисунке 3 приведены графики зависимости усилия прокола ткани от концентрации спиртового раствора канифоли для различного количества слоев.

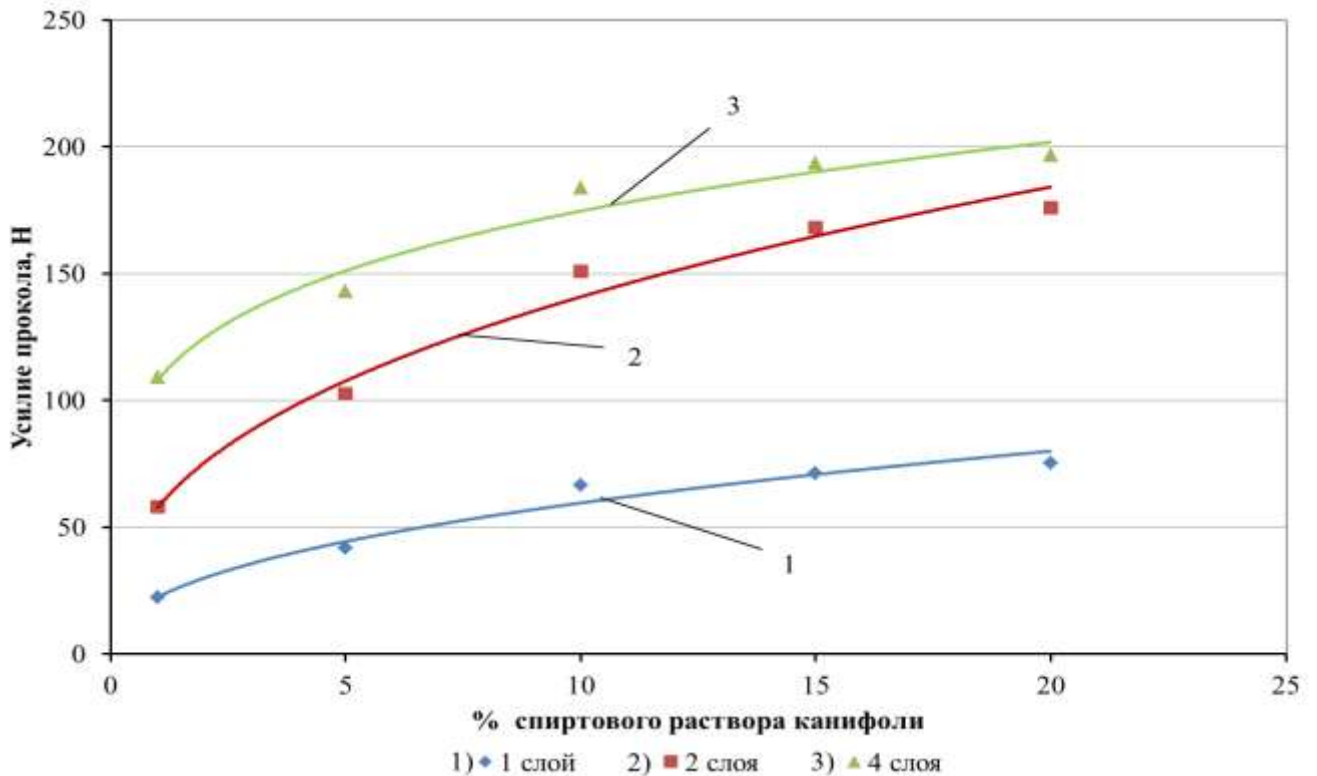


Рисунок 3 – Зависимость усилия прокола ткани от концентрации спиртового раствора канифоли для различного количества слоев

Обработка спиртовым раствором канифоли приводит к увеличению прочности при прокалывании образцов. Это объясняется тем, что ткань после обработки стягивается, становится более плотной и жесткой из-за образовавшегося на ее поверхности слоя, который визуально определяется при помощи инструментальных методов. Структура обработанной ткани является менее подвижной по сравнению с необработанной, так как обработка спиртовым раствором канифоли способствует увеличению межнитевого трения.

Использование в обработке ткани 20% раствора канифоли приводит к значительному увеличению жесткости ткани, на поверхности при высыхании образуется слой канифоли, который при изменении геометрии ткани частично осыпается. Следовательно, это отрицательно скажется на эргономике бронежилета, поэтому дальнейшее увеличение концентрации раствора канифоли выше 15 % не целесообразно.

В работе проводились исследования нагрузки при прорезании и усилия прокола тканей в динамических условиях. Для имитации ударного воздействия была разработана установка, представленная на рисунке 4.

Установка состоит из основания, двух направляющих и переключателя с насадкой в виде ножа или пика для определения ударной нагрузки. Образец ткани закрепляется на столике с отверстием диаметром 50 мм. Переключатель располагается на высоте 1 м. Сверху прикрепляется груз массой 5 кг. При снятии фиксатора, переключатель с грузом и насадкой под действием силы тяжести перемещается вдоль направляющих, создавая ударную нагрузку на образец, равную энергии удара 50 Дж, что соответствует норме, указанной в ГОСТ 50744-95. По стандарту наконечник лезвия должен выходить за бронежилет не более чем на 5 мм.

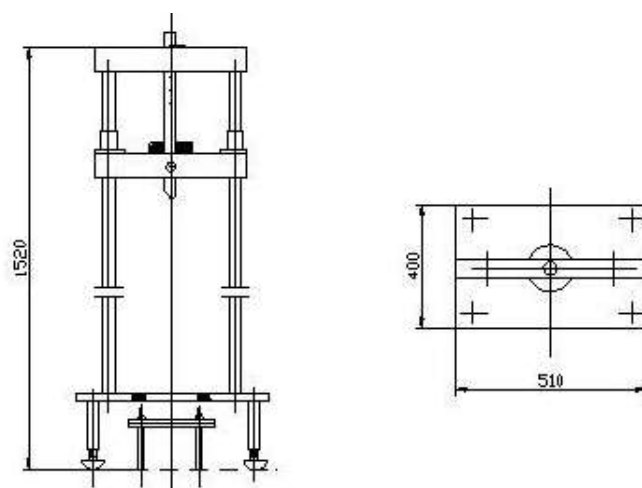


Рисунок 4 – Установка для определения ударной нагрузки баллистических тканей

Для испытаний были сформированы пакеты из 20 и 35 слоев ткани, усилие прокола и нагрузка при прорезании которых в статических условиях были наибольшими. Пробитие ножом 20 слоев антипрокольной и антипрорезной ткани в различных сочетаниях произошло от 12 до 18 мм независимо от вариантов расположения тканей в бронепакете, пробитие пикой составило от 45 до 50 мм. При испытании бронепакета из 35 необработанных слоев пробитие ножом составило 7 – 11 мм, а пикой 34 – 40 мм. При испытании бронепакета из 35 слоев, в котором антипрокольная ткань была обработана 15% спиртовым раствором канифоли, пробитие ножом не произошло или составляло 2 – 4 мм, пробитие пикой составило 28 – 32 мм.

**Четвертая глава** посвящена разработке метода прогнозирования усилия прокола и нагрузки при прорезании баллистических тканей.

Для определения зависимости усилия прокола параарамидных тканей от влажности ткани, скорости движения индентора, количества слоев и параметров строения полотен воспользуемся методами теории подобия и анализа размерностей.

$$Q_{yn} = f(Q_{yn\text{ усх}}, W_{mk}, W_{mk\ 65}, n, d, t, T_o, T_y, \Pi_o, \Pi_y, t_o, t_y, R_o, R_y) \quad (1)$$

где  $Q_{yn}$  – усилие прокола параарамидной ткани после изменения влажности ткани, скорости движения индентора, количества слоев, Н;

$Q_{yn\text{ усх}}$  – усилие прокола параарамидной ткани в 1 слой при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 500 мм/мин, Н;

$W_{mk}$  – влажность ткани при возд ействии водной среды, %;

$W_{mk\ 65}$  – влажность ткани при 65% влажности воздуха (нормальные кондиционные условия), %;

$n$  – количество слоев ткани;

$v$  – скорость движения индентора, м/с;

$d$  – диаметр отверстия для прокалывания в зажиме для закрепления образца, м,  $d=0,06$  м;

$t$  – время проникновения насадки на 5 мм сквозь образец, с;

$K$  – коэффициент, характеризующий структуру ткани;

$$K = \frac{t_o \cdot t_y}{R_o \cdot R_y} \cdot \frac{T_y \cdot \Pi_y}{T_o \cdot \Pi_o} \quad (2)$$

$T_o, T_y$  – линейная плотность нити основы и утка, текс;  
 $\Pi_o, \Pi_y$  – плотность ткани по основе и утку, число нитей / 10 см,  
 $t_o$  – число основных перекрытий в раппорте по основе;  
 $t_y$  – число уточных перекрытий в раппорте по утку;  
 $R_o$  – раппорт переплетения по основе ткани;  
 $R_y$  – раппорт переплетения по утку ткани.

Применяя методы анализа размерностей, функциональное соотношение можно выразить через безразмерные комплексы.

Окончательная формула для расчета усилия прокола примет вид:

$$Q_{yn\ расч} = 0,182 \cdot Q_{yn\ усx} \cdot \left( 11,670 \left( \frac{W_6 vt}{W_{mk} d} \right) - 0,012 \right) \cdot \left( \frac{n \cdot K}{0,183 \cdot n \cdot K + 0,002} \right) \quad (3)$$

Формула справедлива при  $40 \leq W_{mk} \leq 90$ ,  $100 \leq v \leq 500$ ,  $1 \leq n \leq 8$ ,  $0,89 \leq n \cdot K \leq 34,73$ ;  $7,60 \leq Q_{yn\ усx} \leq 8,40$ . Отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 5,76%.

Для определения зависимости нагрузки при прорезании параарамидных тканей от влажности ткани, скорости движения индентора, количества слоев и параметров строения полотен воспользуемся методами теории подобия и анализа размерностей

$$Q_{np} = f(Q_{np\ усx}, W_{mk}, W_{mk\ 65}, n, d, t, T_o, T_y, \Pi_o, \Pi_y, t_o, t_y, R_o, R_y) \quad (4)$$

где  $Q_{np}$  – нагрузка при прорезании параарамидной ткани после изменения влажности ткани, скорости движения индентора, количества слоев, Н;

$Q_{np\ усx}$  – нагрузка при прорезании параарамидной ткани в 1 слой при влажности ткани 65% при скорости движения индентора 500 мм/мин, Н.

Применяя методы анализа размерностей, функциональное соотношение можно выразить через безразмерные комплексы.

Окончательная формула для расчета нагрузки при прорезании примет вид:

$$Q_{np\ расч} = 0,826 \cdot Q_{np\ усx} \cdot \left( 2,452 \left( \frac{W_6 vt}{W_{mk} d} \right) - 0,186 \right) \cdot \left( \frac{n \cdot K}{0,834 \cdot n \cdot K + 0,017} \right) \quad (5)$$

Формула справедлива при  $40 \leq W_{mk} \leq 90$ ,  $100 \leq v \leq 500$ ,  $1 \leq n \leq 8$ ,  $0,89 \leq n \cdot K \leq 34,73$ ;  $9,18 \leq Q_{np\ усx} \leq 31,70$ . Отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 5,80%.

Полученные математические модели позволяют с высокой степенью точности прогнозировать усилие прокола и нагрузку при прорезании параарамидных тканей в зависимости от влажности воздуха, скорости движения индентора, количества слоев и параметров строения образцов.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ

1. Бронежилеты, используемые для защиты от огнестрельного оружия, не всегда обеспечивают защиту от холодного оружия в силу его лучшей проникающей способности, поэтому необходим комплексный подход при формировании оптимального бронепакета, защищающего от таких средств поражения, геометрия и механика проникновения которых позволяет нанести повреждения в виде прокола или прореза.

2. Установлено, что в статических условиях нагрузка при прорезании и усилии прокола тканей баллистического назначения изменяются под воздействием влажности, скорости движения индентора и количества слоев.

3. Выявлено, что геометрия насадок оказывает существенное влияние на антипрокольные и антипрорезные характеристики, а также стрелу прогиба образцов. В зависимости от выбранного индентора для проверки антипрокольных и антипрорезных характеристик установлено, что механика проникновения индентора в виде ножа существенно отличается от механики проникновения индентора в виде пики, что влияет на проникающую способность средства поражения. Совокупность данных факторов обуславливает выбор материалов для бронепакета, отвечающих условиям эксплуатации.

4. Выявлено, что формирование оптимального бронепакета обусловлено тем, что средства поражения различны по геометрии строения своей ударной части, определяя тем самым особенности механики проникновения в ткань, которая в свою очередь не может быть универсальной и защищать одновременно от прокола и прореза, поэтому для достижения единства антипрорезных и антипрокольных свойств в одном бронепакете необходимо использовать различные по виду и структурным характеристикам ткани.

5. Разработана установка и методика оценки определения стойкости к прокалыванию и прорезанию пакетов из баллистических тканей в динамических условиях.

6. Установлено, что после поверхностной обработки спиртовым раствором канифоли различной концентрации у тканей со структурным характеристикам, обеспечивающими повышенные антипрокольные свойства, увеличивается усилие прокола при испытаниях в статических и динамических условиях. На основе экспериментальных данных выявлена концентрация спиртового раствора канифоли, при которой возникает оптимальное сочетание жесткости и стойкости к проколу.

7. Для испытаний были сформированы пакеты из 20 и 35 слоев ткани. Пробитие ножом 20 слоев антипрокольной и антипрорезной ткани в различных сочетаниях произошло от 12 до 18 мм независимо от вариантов расположения тканей в бронепакете, пробитие пикой составило от 45 до 50 мм. При испытании бронепакета из 35 не обработанных слоев пробитие ножом составило 7 – 11 мм, а пикой 34 – 40 мм. При испытании бронепакета из 35 слоев, в котором антипрокольная ткань была обработана 15% спиртовым раствором канифоли, пробитие ножом не произошло или составляло 2 – 4 мм, пробитие пикой составило 28 – 32 мм.

8. Получены математические модели, которые позволяют с высокой степенью точности прогнозировать усилие прокола и нагрузку при прорезании в зависимости от влажности параарамидных тканей, скорости движения индентора, количества слоев и параметров строения образцов.

9. Разработаны рекомендации по внесению изменений в ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования».

**Основное содержание диссертации изложено в печатных работах:****Статьи в рецензируемых журналах:**

1. Курденкова А.В., Буланов Я.И., Шустов Ю.С. Прогнозирование прочности тканей баллистического назначения при воздействии различных внешних факторов // Вестник технологического университета. – Казань. – 2015. – Т.18. – №6. – С. 147-150
2. Курденкова А.В., Буланов Я.И., Шустов Ю.С. Прогнозирование нагрузки при прорезании тканей, применяемых для изготовления бронежилетов с учетом влажности и количества слоев // Дизайн и технологии. – 2015. – 45 (87). – С. 62-67
3. Буланов Я.И., Шустов Ю.С., Курденкова А.В. Исследование механических свойств баллистических тканей с учетом количества слоев // Химические волокна. – №5. – 2014. – С.41-43
4. Bulanov Y.I., Shustov Y.S., Kurdenkova A.V. Study of the mechanical properties of ballistic fabrics taking into account the number of layers // Fibre Chemistry. – 2015. – Т. 46. – № 5. – С. 309-311
5. Буланов Я.И., Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Гембач В.В. Исследование влияния обработки баллистических тканей спиртовым раствором канифоли на усилие прокола // Химические волокна. – 2017. – №1
6. Буланов Я.И., Курденкова А.В., Шустов Ю.С. Исследование влияния поверхностной обработки баллистических тканей на усилие прокола // Дизайн и технологии. – 2017
7. Буланов Я.И., Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Гембач В.В. Разработка метода оценки ударной нагрузки на ткани баллистического назначения // Вестник технологического университета. – Казань. – 2017

**Статьи в других изданиях:**

1. Буланов Я.И., Курденкова А.В., Шманёв А.Н. Исследование влияния воды на механические свойства баллистических тканей для создания защиты от оружия различных видов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ - 2015): сборник материалов международной научно-технической конференции. – Москва. – 2015. – С. 131-134.
2. Шманёв А.Н., Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Буланов Я.И. Разработка методик оценки качества баллистических тканей с учетом условий эксплуатации // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции ИНТЕКС-2015. Часть 1. – Москва. – 2015. – С. 99-101
3. Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Буланов Я.И. Исследование прочности тканей специального назначения при воздействии острых предметов // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов международной научно-технической конференции. – Витебск. – 2014. – С. 466-468
4. Шустов Ю.С., Буланов Я.И. Исследование механических свойств баллистических тканей в сухом и мокром состоянии // Материалы международной научной конференции «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности». – Витебск. – 2013. – С. 141-143



**БУЛАНОВ ЯРОСЛАВ ИГОРЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ  
БАЛЛИСТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 05.19.01 - Материаловедение производств  
текстильной и легкой промышленности

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Усл.-печ. 1 п.л. Тираж 80 экз. Заказ №  
Информационно-издательский центр  
«РГУ им. А.Н. Косыгина»  
117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1  
Тел/факс (495)506-72-71  
e-mail: rfrost@yandex.ru  
Отпечатано в ИИЦ «РГУ им. А.Н. Косыгина»