

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. КОСЫГИНА
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»

На правах рукописи



БУЛАНОВ ЯРОСЛАВ ИГОРЕВИЧ

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

Специальность 05.19.01 - Материаловедение производств
текстильной и легкой промышленности

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Шустов Ю.С.

Москва – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ....	9
1.1. Первоочередные задачи в области разработки новых материалов и средств индивидуальной бронезащиты.....	9
1.2. Классификация холодного оружия и некоторые конструктивные особенности.....	11
1.3. Стандарты на защиту от холодного оружия.....	13
1.4. Свойства баллистических тканей.....	20
Выводы по главе.....	30
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТКАНИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....	32
2.1 Выбор объектов исследования.....	32
2.2. Физические свойства баллистических тканей.....	34
2.3. Раздвигаемость баллистических тканей.....	35
2.4. Механические свойства баллистических тканей при многократном воздействии.....	37
2.5. Исследование влияния количества слоев баллистических тканей на усилие прокола.....	41
2.6. Исследование влияния скорости движения индентора на усилие прокола баллистических тканей.....	51
2.7. Исследование зависимости усилия прокола от влажности баллистических тканей.....	61
2.8. Исследование зависимости нагрузки при прорезании однозаточенным ножом от количества слоев баллистических тканей.....	70
2.9. Исследование влияния скорости движения индентора на нагрузку при прорезании однозаточенным ножом баллистических тканей.....	80

2.10. Исследование зависимости нагрузки при прорезании однозаточенным ножом от влажности баллистических тканей.....	90
Выводы по главе.....	98
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ХОЛОДНОГО ОРУЖИЯ.....	103
3.1. Исследование влияния количества слоев на нагрузку при прорезании однозаточенным ножом баллистических тканей.....	103
3.2. Исследование влияния обработки баллистических тканей спиртовым раствором канифоли на усилие прокола.....	108
3.3. Исследование влияния концентрации спиртового раствора канифоли на усилие прокола баллистических тканей.....	116
3.4. Разработка метода оценки ударной нагрузки на ткани баллистического назначения.....	121
Выводы по главе.....	125
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ТКАНЕЙ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	128
4.1. Прогнозирование усилия прокола тканей баллистического назначения при воздействии различных внешних факторов.....	128
4.2. Прогнозирование нагрузки при прорезании тканей, применяемых для изготовления бронежилетов при воздействии различных внешних факторов.....	142
Выводы по главе.....	155
Общие выводы.....	156
Список литературы.....	158

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного мира существует большое количество жизненных ситуаций, где человеку, для защиты своей жизни и здоровья, необходимо использовать средства индивидуальной защиты. При длительном пользовании СИЗ должны обеспечивать надежную защиту тела человека от различных негативных воздействий при сохранении нормального функционального состояния и работоспособности. Поэтому важной проблемой при разработке материалов, которые являются основным компонентом СИЗ, это достижение в одной модели единства эксплуатационных, защитных и эргономических свойств.

Бронежилет состоит из трех элементов: внешнего чехла, на котором закреплены элементы, позволяющие придать бронежилету форму, удобную для человека, текстильного материала, сформированного из высокопрочных нитей, и амортизирующей части.

Основным элементом бронежилета является материал на основе 15-40 слоев баллистической ткани из арамидных, иногда полиэтиленовых волокон [29].

Баллистические ткани останавливают пули и осколки, так же способны защищать от высокоскоростной пули (600-900 м/с). В таких случаях мягкую броню комбинируют в бронежилете с композитами, твердосплавными металлами или керамикой.

Защита человека от огнестрельного оружия не всегда обходима, так как эта область специфична (далеко не каждый человек подвергает свою жизнь опасности настолько, что имеется необходимость защитить себя от огнестрельного ранения), подобное применение бронежилетов не рассчитано на массового потребителя.

В настоящее время широкое распространение получили средства индивидуальной защиты от холодного оружия и иных предметов его имитирующих. Данные средства индивидуальной защиты также широко используется сотрудниками ФСИН, ФССП, МВД, ФСВНГ и т.д. Эти средства защиты имеют свои особенности по сравнению со средствами защиты от огнестрельного оружия.

Поэтому целью работы является разработка методов оценки качества тканей с антипрокольными и антипрорезными свойствами, предназначенных для противодействия холодному оружию и иным предметам, которые с помощью мускульной силы человека способны нанести повреждения различной степени тяжести, а также смертельные ранения.

Актуальность работы

Особую актуальность в последнее время приобретают вопросы обеспечения личной безопасности для каждого человека, по роду деятельности относящегося в большей степени к «группе риска», для которого одежды специального назначения является средством индивидуальной защиты.

Применение соответствующих материалов в средствах индивидуальной защиты должно обеспечивать их стойкость к внешним воздействиям, так как известно, что многие баллистические материалы, например, при намокании или от контакта с химически активными жидкостями, могут снижать свои основные защитные свойства.

Номенклатура средств индивидуальной защиты достаточно обширна, однако последним защитным рубежом между средством поражения и телом человека остается бронежилет, который должен обеспечивать надлежащий уровень комфорта и безопасности. 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 защи-

ты 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 пакетов для изготовления бронежилетов 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.
- Исследование влияния поверхностной обработки тканей баллистического назначения на усилие прокола при испытаниях в статических и динамических условиях.
- Проведение испытаний по определению стойкости к прокалыванию и прорезанию пакетов из баллистических тканей в 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 Adobe 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 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 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 бронежилета.

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.

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.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ

1.1. Первоочередные задачи в области разработки новых материалов и средств индивидуальной бронезащиты

Основным элементом средств индивидуальной защиты в настоящее время является бронежилет. Его задача – обеспечивать защиту жизненно важных органов человека от поражения холодным оружием, пулями огнестрельного оружия, осколками снарядов, мин, гранат и т.п., заброневой контузионной травмы и механических повреждений при ведении всех видов боевых действий.

По данным Главного информационно-аналитического центра МВД РФ (ГИЦ МВД РФ) [23] в 2010 году зарегистрировано 7443 преступлений с использованием оружия из них 2978 с использованием холодного оружия, в 2011 году зарегистрировано 6769 преступлений с использованием оружия из них 2664 с использованием холодного оружия, в 2012 году зарегистрировано 7541 преступлений с использованием оружия из них 2738 с использованием холодного оружия, в 2013 году зарегистрировано 7576 преступлений с использованием оружия из них 2480 с использованием холодного оружия, в 2014 году зарегистрировано 7281 преступлений с использованием оружия из них 2211 с использованием холодного оружия [23].

На рисунке 1.1 приведена статистика преступлений.

По данным рисунка 1.1 можно сделать вывод о том, что из массы преступлений с использованием оружия, доля использования холодного оружия в промежутке с 2010 по 2014 года существенно не изменилась и колеблется в пределах от 2200-3000 преступлений, что составляет 30-40% от общей массы преступлений совершенных с использованием оружия. Такие данные нам могут говорить, что, несмотря на то, что бытует мнение о том, что достать огнестрельное оружие не составляет труда, холодное оружие или простой бытовой нож или иной колюще-режущий предмет гораздо доступнее, чем огнестрельное оружие, его сложнее

идентифицировать и оставляет меньше следов [36, 44, 99, 47, 51, 63, 64, 76, 96, 97].

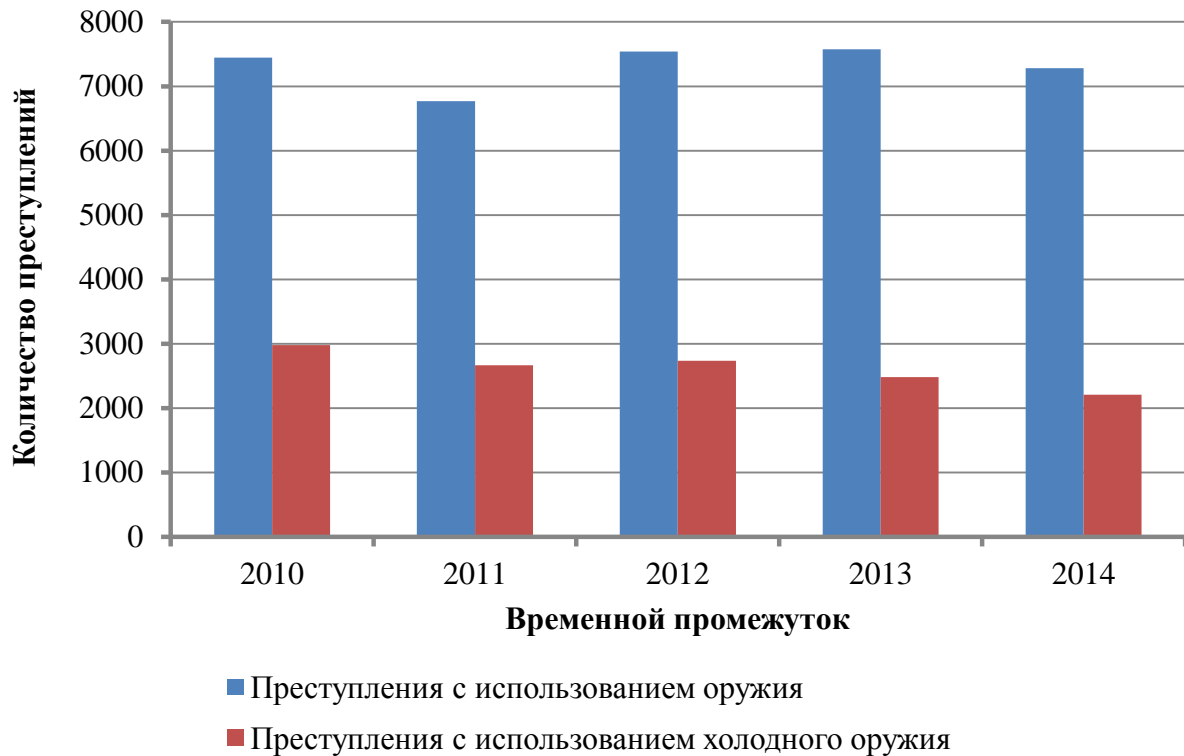


Рисунок 1.1 – Статистика преступлений

По данным МВД Англии на 2010 год, опубликованным в газете The Independent [110], количество преступлений с использованием ножей и других колющих и режущих предметов увеличилось по сравнению с 2009 годом на 18%, число смертельных ранений увеличилось на 10%, тем самым сократилось количество преступлений с использованием огнестрельного оружия на 29%.

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.

Очевидно, что правильный выбор материалов для бронезащиты может быть осуществлен только в результате изучения и анализа их возможностей с точки зрения стойкости по отношению к различным типам средств поражения. По-

сколькx эти средства иногда принципиально отличны друг от друга, то условия, в которых они работают, имеют свои специфические требования.

Учитывая многофакторность воздействий, в которых эксплуатируются средства индивидуальной защиты, одной из задач является изучение динамики свойств имеющихся и вновь разрабатываемых бронезащитных материалов.

В этом направлении необходимо провести исследования по изучению системы взаимодействующих факторов «поражающий предмет-бронезишет-человек».

1.2. Классификация холодного оружия и некоторые конструктивные особенности

Федеральный закон РФ «Об оружии» [98], принят ГД РФ 13 ноября 1996 года. Настоящий Федеральный закон регулирует правоотношения, возникающие при обороте гражданского, служебного, а также боевого ручного стрелкового и холодного оружия на территории Российской Федерации, направлен на защиту жизни и здоровья граждан, собственности, обеспечение общественной безопасности, охрану природы и природных ресурсов, обеспечение развития связанных с использованием спортивного оружия видов спорта, укрепление международного сотрудничества в борьбе с преступностью и незаконным распространением оружия. Данный Закон определяет виды оружия и дает их понятие [98].

Холодное оружие – оружие, предназначенное для поражения цели при помощи мускульной силы человека при непосредственном контакте с объектом поражения [98].

Конструкция холодного оружия предполагает наличие поражающих элементов и защитных устройств, в совокупности определяющих его специальное назначение. Источником энергии при использовании холодного оружия является мускульная сила человека. Непосредственный контакт подразумевает определенную последовательность: нападающий - оружие - объект поражения. Надеж-

ность определяется прочностью всей конструкции и ее элементов, безопасностью для пользователя и удобством использования.

Конструктивные признаки холодного оружия:

1. Часть, предназначенная для нанесения повреждений (лезвие, утолщение, ударный груз);
2. Приспособление для удобного удержания объекта в руке, оберегающее руку от самоповреждения;
3. Механическая прочность конструкции позволяющая использовать объект неоднократно.

Дополнительные характеристики холодного оружия:

по способу изготовления холодное оружие делят – на заводское, кустарное, самодельное;

по месту изготовления – на отечественное и иностранное;

по соответствию стандартам – на стандартное и нестандартное (атипичное);

по назначению – на боевое (военное, полицейское, специальное), гражданское (спортивное, охотничье, принадлежности формы и национального костюма), криминальное;

по способу действия – на колющее (стилеты, шпаги, штыки), колюще-режущее (ножи, кинжалы), рубяще-режущее (сабли, шашки), ударно-раздробляющее (дубинки, нунчаку, кастеты) [36, 99].

К холодному оружию не относят, различные объекты производственного и хозяйственно-бытового назначения, хотя многие из них обладают значительным поражающим действием и нередко используются в качестве оружия при совершении преступлений (ножи кухонные, карманные, отвертки шила, топоры) [98].

Нож состоит из 3 основных частей (рисунок 1.2): клинка, упора (ограничителя), рукояти. Клинок, характеризуется наличием острия, обуха, скоса обуха, заточки скоса обуха, лезвия, закругления лезвия, заточек лезвия, долы (выточки клинка) пятки клинка. Рукоять имеет кольцо и наконечник.

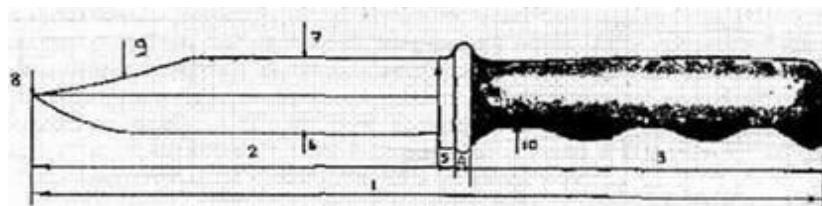


Рисунок 1.2 - Схема ножа:

- 1 – длина ножа; 2 – длина клинка; 3 – длина рукояти; 4 – ограничитель;
 5 – пята; 6 – лезвие; 7 – обух; 8 – боевое острие; 9 – скос обуха;
 10 – подпальцевые выемки

Для отнесения ножей к холодному оружию необходимо:

- длина клинка была не менее 90 мм;
- наибольшая толщина обуха составляла 2,5 мм и более;
- клинок надежно без люфта был закреплен в рукоятке;
- рукоятка была удобной для удержания ножа в руке;
- конструкция не разрушалась при ударах под различным углом в деревянную доску толщиной 50 мм;
- ладонь при ударе не соскальзывала с рукоятки;
- при усилии на острие клинка в 5 кг клинок не отклонялся более 10% его длины;
- после удаления груза (5 кг) клинок принял первоначальное положение (не изогнулся, не деформировался) [9, 36, 98].

1.3. Стандарты на защиту от холодного оружия

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации бронежилетов показал, что холодное оружие и иные предметы которые с помощью мускульной силы человека способны нанести повреждения различной степени тяжести, а также смертельные ранения представляет значительную проблему для разработчиков средств защиты, поэтому исследование антипрокольных и антипрорезных свойств их ка-

чественное улучшение является важной задачей, т.к. от этого напрямую зависит минимизация угрозы жизни и здоровью человека [29, 40-42, 45, 107-109, 111].

Проблемы возникающие при решении этих задач, напрямую зависят от свойств тех предметов которым должен противостоять материал составляющий основу брони [80, 81]. Проникающая способность холодного оружия выше, чем у многих пуль короткоствольного оружия, большой перечень холодного оружия, разнообразия их форм, наличие огромного числа предметов которые по своим характеристикам и цели применения не соответствуют холодному оружию, но вполне могут быть использованы как холодное оружие, делает проблематичным выбор такого средства, которое можно использовать как стандартизованное.

Тем не менее, во многих странах, сегодня есть стандарты на защиту от холодного оружия:

- Россия (ГОСТ Р 50744-95, «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования»);
- США (NIJ Standard — 0101.04 «Ballistic Resistance of Personal Body Armor» (стандарт Национального института юстиции США «Баллистические характеристики средств индивидуальной защиты»);
- Германия (Technische Richtlinie Ballistische Schutzwestendes Unterausschusses Führungs — und Einsatzmittel» (технические нормы (стандарт) Германии «Бронеодежда»);
- Великобритания (PSDB Body Armour Standards For UK Police (стандарт Великобритании на средства индивидуальной защиты);
- Европейский Союз (EN ISO 14876-3-2000, Защитная одежда. Защита тела) [24, 88-92].

В таблице 1.1 приведены требования к бронеодежде для защиты от холодного оружия.

Таблица 1.1 - Сравнительная таблица требований к бронеодежде

Нормативный документ	Средство поражения	Требования нормативной документации	
		Энергия удара	Допустимое проникание индентора, мм
1	2	3	4
ГОСТ 50744-95	Штык-Нож 6X5 заводской заточки (Штык к автомату АК-74 и его модификациям; или автомату АН-94; или автоматам АК «100-й серии»)	50 Дж	5 Оценивается глубина проникновения (длина выхода) лезвия холодного оружия за тыльную сторону защитной структуры бронеодежды
NIJ Standard — 0101.04 «Ballistic Resistance of Personal Body Armor (США)	Заточенный нож (двухсторонний и односторонний) - класс "EdgedBlade" Заточка - класс "Spike" (заточка)	1 уровень защиты - 24 Дж 2 уровень защиты - 33 Дж 3 уровень защиты - 43 Дж Испытания с увеличенными на 50% энергиями: 1 уровень защиты - 36 Дж 2 уровень защиты - 50 Дж 3 уровень защиты - 65 Дж	7 7 7 20 20 20
PSDB Body Armour Standards For UK Police (стандарт Великобритании на средства индивидуальной защиты)	Заточенный нож (двухсторонний)	Испытания заточкой ограничиваются энергиями от 24 до 43 Дж	Не допускает проникания за тыльную поверхность защитной структуры
EN ISO 14876-3-2000, Защитная одежда. Защита тела	Нож, заточка, игла	1 уровень (E1) для ножа и заточки (15 Дж), для иглы – (1,0 Дж), для повышенных энергий (E2) 1 уровень определяется уже (25 Дж) для ножа и заточки и (2,5 Дж) для иглы. 2 уровень (E1) для ножа и заточки – (25 Дж), (E2) – (40 Дж), испытания иглой не предусмотрены. 3 уровень (E1) для ножа и заточки – (40 Дж), (E2) – (65 Дж). Испытания иглой не предусмотрены	от 5 до 50 мм (для ножа и заточки). Проникание иглы не допускается. При повышенных энергиях удара допустимыми значениями считаются величины от 20 до 30 мм

Рассмотрим эти стандарты более подробно.

Россия (ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования»). Настоящий стандарт распространяется на бронеодежду, предназначенную для защиты туловища и конечностей человека (за исключением стоп ног и кистей рук) (далее - человека) от воздействия холодного и огнестрельного стрелкового оружия, а также поражения осколками. Стандарт устанавливает классификацию бронеодежды и общие технические требования к ней, необходимые для разработки, изготовления и испытаний соответствующей продукции. Стандарт не распространяется на бронеодежду, разрабатываемую и (или) производимую по заказу Министерства обороны Российской Федерации, а также на средства защиты головы. В данном ГОСТе дается определение бронеодежды – средства индивидуальной бронезащиты, выполненные в виде пальто, накидок, плащей, костюмов, курток, брюк, комбинезонов, жилетов и т.п., предназначенные для периодического ношения с целью защиты туловища и (или) конечностей человека (за исключением стоп ног и кистей рук) от воздействия холодного оружия и огнестрельного стрелкового оружия, а также поражения осколками (средства поражения), холодное оружие – оружие, конструктивно предназначенное для поражения цели с помощью мускульной силы человека, класс защитной структуры – показатель стойкости защитной структуры бронеодежды к воздействию регламентированных средств поражения и т.д. [24].

В соответствии с ГОСТ 50744-95 бронеодежду классифицируют по:

- функциональному назначению;
- конструктивному исполнению;
- защитным свойствам.

По функциональному назначению бронеодежда предназначается для защиты:

- туловища;
- конечностей (за исключением стоп ног и кистей рук);
- туловища и конечностей (за исключением стоп ног и кистей рук).

По конструктивному исполнению бронеодежду подразделяют на:

- мягкие защитные структуры;
- полужесткие защитные структуры на основе мягких защитных структур с пластинами из твердых броневых материалов;
- жесткие защитные структуры на основе жестких формованных броневых материалов.

По защитным свойствам бронеодежду подразделяют на:

- пулестойкую;
- стойкую к осколочному воздействию;
- стойкую к воздействию холодного оружия;
- комбинированную.

Бронеодежду по стойкости к воздействию регламентированных средств поражения подразделяют на классы:

- специальные классы защиты (С, С1, С2);
- основные классы защиты (Бр1, Бр2, Бр3, Бр4, Бр5, Бр6).

Класс защитной структуры бронеодежды «С» (специальный класс защиты) соответствует средству поражения – холодное оружие, в ГОСТе 50744-95, регламентированным средством поражения соответствующий «С» классу защитной структуры является Штык-Нож 6Х5 заводской заточки (Штык к автомату АК-74 и его модификациям; или автомату АН-94; или автоматам АК «100-й серии»).

«С» класс устанавливает защиту от такого средства поражения, как Штык-Нож 6Х5 заводской заточки при энергии удара (49 ± 1) Дж.

Оцениваемый показатель стойкости бронеодежды защитной структуры класса «С» при воздействии такого средства поражения как Штык-Нож 6Х5 заводской заточки, является глубина проникновения (длина выхода) лезвия холодного оружия за тыльную сторону защитной структуры бронеодежды. Допустимым значением этого показателя будет глубина проникновения лезвия холодного оружия за тыльную сторону защитной структуры не более 5 мм [24].

США (NIJ Standard– 0101.04 «Ballistic Resistance of Personal Body Armor») (стандарт Национального института юстиции США «Баллистические характери-

стики средств индивидуальной защиты»). Данным стандартом определено 2 класса и 3 уровня защиты. Класс определяет тип холодного оружия, против которого используется защитная структура, уровень защиты характеризует допустимую энергию удара. Холодное оружие разбито на 2 класса - класс "Edged Blade" (заточенный нож) и класс "Spike" (заточка). В классе "Edged Blade" в качестве стандартного средства испытаний приняты 2 типа индентеров. Первый тип (P1) имеет двухстороннюю заточку, его толщина 4 мм. Второй тип (S1) имеет одностороннюю заточку и толщину 2 мм. Испытания проводятся обоими типами.

Стандартом предусмотрено 3 уровня защиты. Первый уровень защиты характеризуется энергией удара в (24 Дж), этот уровень охватывает не менее 85% всех возможных случаев с применением холодного оружия. Второй уровень, характеризуемый энергией удара в (33 Дж), вероятен уже в 90% случаев. Третий уровень (43 Дж) - вероятен в 96% случаев. Для всех этих уровней энергий (E1), допустимое проникание индентора (P1, S1 или заточки) за защитную структуру не должно превышать 7 мм.

Стандартом предусмотрены испытания с увеличенными на 50% энергиями (E2). В этих испытаниях уровню 1 соответствует энергия в (36 Дж), уровню 2 (50 Дж), уровню 3 (65 Дж). Допустимое проникание индентора за защитную структуру не должно превышать 20 мм [90].

Великобритания (PSDB Body Armour Standards For UK Police (стандарт Великобритании на средства индивидуальной защиты). Стандарт практически полностью копирует американский стандарт США (NIJ Standard — 0101.04 «Ballistic Resistance of Personal Body Armor» (стандарт Национального института юстиции США «Баллистические характеристики средств индивидуальной защиты»). Отличия касаются, в частности, стандартизации средств испытаний. В PSDB в классе ножей принят только один тип (P1). Имеются отличия и в оценке результатов тестирования, и в маркировке уровней защиты. Так PSDB не допускает проникания за тыльную поверхность защитной структуры заточки ни в одном из уровней. Правда при этом испытания заточкой ограничиваются энергиями (E1). Бронежилет обязательно должен пройти испытания на защиту от ножа, которые рассмат-

риваются как основные. Испытание на защиту от заточки приводятся как дополнение к защите от ножа и жилет не классифицируется на защиту только от этого средства [88].

Европейский Союз (EN ISO 14876-3-2000, Защитная одежда. Защита тела). Стандарт во многом копирует описанные выше стандарты США (NIJ Standard — 0101.04 «Ballistic Resistance of Personal Body Armor» (стандарт Национального института юстиции США «Баллистические характеристики средств индивидуальной защиты») и Великобритании (PSDB Body Armour Standards For UK Police (стандарт Великобритании на средства индивидуальной защиты)). В нем также классы защиты определяются типом индентора, уровень защиты – величиной энергии удара. Стандартом в каждом классе определено 3 уровня защиты. Испытания проводятся при стандартных условиях удара с энергиями (E1) и с повышенными энергиями удара (E2).

Однако есть в нем и существенные отличия. Главное касается регламентированных средств испытаний. Кроме ножа и заточки здесь введена еще и игла толщиной 0,8 мм и длиной 40 мм. Отличия коснулись и допустимых значений энергий в каждом уровне и глубин проникания инденторов за защитную структуру бронежилета.

1 уровень (E1) для ножа и заточки (15 Дж), для иглы – (1,0 Дж), для повышенных энергий (E2) 1 уровень определяется уже (25 Дж) для ножа и заточки и (2,5 Дж) для иглы.

2 уровень (E1) для ножа и заточки – (25 Дж), (E2) – (40 Дж), испытания иглой не предусмотрены.

3 уровень (E1) для ножа и заточки – (40 Дж), (E2) – (65 Дж). Испытания иглой также не предусмотрены.

Допустимыми считаются величины проникания инденторов за защитную структуру от 5 до 50 мм (для ножа и заточки). Проникание иглы не допускается. При повышенных энергиях удара (E2) допустимыми значениями считаются величины от 20 до 30 мм.

Проанализировав вышеуказанные стандарты, можно сделать вывод, что на защиту от холодного оружия влияют 2 параметра.

Первый параметр – это энергия удара, в разных стандартах фигурируют разные значения энергий, но в основном они разбиваются на 2-3 уровня. Первый минимальный уровень в 25...50 Дж характеризует удар, наносимый одной рукой.

Второй в 50...100 Дж – удар, наносимый двумя руками. В некоторых стандартах предусмотрен и третий уровень, который является просто разновидностью второго уровня .

Вторым определяющим параметром является форма, материал и параметры заточки холодного оружия. Поскольку от этого параметра сильно зависит конечный результат, то ему придается особое значение. В России в качестве основного средства испытания принят штык-нож стандартной заточки 6X5 к АК (Автомат Калашникова), большинство зарубежных стандартов использует специальные ножи и заточки стандартизированной формы [29, 31].

1.4. Свойства баллистических тканей

Для средств индивидуальной защиты, особенно важными являются свойства, которые характеризуют надежность бронежилетов в процессе использования.

Для характеристики прочности используют различные показатели, из которых наибольшее распространение получили разрывная нагрузка и разрывное удлинение.

Разрывная нагрузка – наибольшее усилие, выдерживаемое пробной полоской до разрыва. Для тканей разрывную нагрузку обычно выражают в ньютонах. Разрывная нагрузка зависит, прежде всего от прочности, числа непосредственно воспринимающих нагрузку продольных нитей, испытываемой пробы. В ткани нити благодаря взаимному переплетению связаны в единую систему.

Разрывное удлинение – разница между длиной образца в момент разрыва и зажимной длиной образца до разрыва.

Удлинение при растяжении ткани происходит за несколько стадий. На начальной стадии деформирования происходит распрямление нитей ткани, расположенных в направлении нагрузки.

На конечной стадии деформирования происходит собственно растяжение материала. Удлинение ткани зависит от природы волокна из которого состоят продольные и поперечные нити, переплетения, плотности ткани, толщины продольных и поперечных нитей, обработки ткани различными средствами [2, 5, 11, 21, 22, 38, 39, 48, 80, 81, 105].

Баллистические ткани помимо прочностных свойств, обладают также хорошей термической стойкостью – свойство материала противостоять и не разрушаясь, напряжениям, вызванным изменением температуры. Арамидная ткань способна долгое время работать при температуре 250 °С и выдерживать кратковременные пиковые нагрузки в 1000 °С [16, 17, 68 – 75, 86].

Важным свойством, является также способность материала противостоять нагрузке, которая прикладывается к нему путем воздействия различных предметов, как холодного оружия, так и изделий хозяйственно бытового назначения имитирующие его:

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.).

Надежность целевого использования параарамидных тканей, определяется высокими показателями свойств данных тканей, таких как разрывная нагрузка, разрывное удлинение, термостойкость, антипрокол, антипрорез и т.д. На эти свойства тканей влияют и внешние факторы и условия использования: влага, све-

топогода, различного рода факторы, влияющие на материал еще в период тканеформирования, поверхностная обработка тканей и т.д.

В последнее время проводился ряд исследований посвященных изучению влияния внешних факторов на свойства параарамидных тканей [6, 7, 10, 46, 53, 68-75].

Работа Лебедевой Н.П. [52] была посвящена исследованию сорбционных свойств параарамидных нитей, а также исследованию влияния влаги на механические свойства параарамидных нитей.

Для характеристики процессов сорбции и десорбции водяного пара и набухания нитей в воде методом моментов кинетических кривых были вычислены эффективные коэффициенты диффузии.

При десорбции водяного пара коэффициенты диффузии выше, чем при сорбции, так как нить находится в высокоэластическом состоянии и ее внутреннее напряжение минимально.

Наибольшие значения коэффициентов диффузии получены для процесса набухания нитей в воде, под действием воды время структурной релаксации нити значительно снижается по сравнению с паровоздушной средой.

У нити Русар под действием воды надмолекулярная структура может значительно изменяться, что отразилось на значительно более низком коэффициенте диффузии.

Прочность параарамидных нитей в мокром состоянии снижается не более, чем на 10 %.

По потере прочности нити можно расположить следующим образом, Русар, Тварон 1000, Тварон 2000, Тварон 2200, Кевлар 49, Технора Т200.

Под действием влаги удлинение нитей увеличивается.

Падение прочности и прирост удлинения при разрыве происходит за счет эффекта пластификации.

Высушивание параарамидных нитей после действия воды способствует восстановлению разрывных характеристик.

При продолжительном воздействии влаги снижение прочностных характеристик нитей обусловлено эффектом пластификации и микробиологической деструкцией.

У нитей на основе ПФТА наблюдается снижение удлинения при разрыве [50].

В работах Никитиной О.В. [59-61] было рассмотрено изменение механических свойств параарамидных нитей после воздействия светопогоды.

Стойкость к воздействию светопогоды определялась в естественных климатических условиях, и в искусственных, лабораторных условиях, с использованием аппаратов искусственной погоды.

Наибольшая потеря прочности у нитей Русар отмечается за первый месяц экспонирования, через, более чем 6 месяцев экспонирования в естественных условиях нити Русар сохраняют около 26% прочности, а разрывное удлинение составляет 27%.

Нити Русар, прошедшие дополнительно термообработку и термовытяжку, сохраняют в среднем 60% прочности.

Исследования проводились на приборах дневного света (ПДС) и Ксенотесте, максимальная длительность воздействия была 24 часа, измерение разрывных характеристик осуществлялось после каждого цикла воздействия, на приборе ПДС нити Тварон, Технора и Кевлар сохранили 80% первоначальной прочности, менее светостойкая нить СВМ.

Термовытянутая нить Русар после 24 часов инсоляции имеет минимальное снижение разрывной нагрузки – 68%, а разрывного удлинения – 51%. Определена взаимосвязь между временем воздействия в естественных климатических условиях и длительностью испытаний, рассчитаны коэффициенты между различными видами воздействия светопогоды. Светопогода на приборе ПДС оказывает менее разрушающий эффект на параарамидные нити.

Воздействие светопогоды в течение 24 часов на приборе Ксенотест соответствуют 6 месяцам естественной инсоляции, также он позволяет получить результаты более приближенные к естественным условиям инсоляции [59-61].

В работе Кашеевой М.М. [37] было проведено исследование углеродных тканей.

Получены математические модели влияния заправочного натяжения основы на натяжение нитей в периоды тканеформирования.

Данные модели позволяют управлять технологическим процессом за счет сочетания технологических параметров.

Полуцикловые характеристики нитей, показывают, что разрывная нагрузка нитей основы, уменьшается на 4-6%, разрывная нагрузка нитей утка – на 3-4%, при изготовлении ткани полотняного переплетения наблюдается наибольшее падение разрывной нагрузки, а при изготовлении восьмиремизного атласа, падение минимально.

Разрывное удлинение нитей основы, уменьшается на 13-16%, разрывное удлинение нитей утка – на 5-6%, максимальное и минимальное падение разрывного удлинения в зависимости от переплетения ткани аналогично. Установлено, что в зависимости от переплетения ткани, плотностей ткани по основе и по утку нити основы в процессе ткачества теряют прочностные показатели на 12-15%, а нити утка на 5-6%.

В работе Егорова Н.В. [35] предложен новый метод определения изгибной жесткости текстильных нитей; определена изгибная жесткость параарамидных нитей разной линейной плотности.

Определены параметры долговечности параарамидных нитей различной линейной плотности.

Проведена оценка напряженности заправок огнезащитных тканей из параарамидных нитей Русар на основе критерия длительной прочности В. Москвитина.

Определены рациональные параметры строения огнезащитных тканей из параарамидных нитей.

Построены графы причинно-следственных связей между полуцикловыми характеристиками, линейной плотностью и круткой различных параарамидных нитей [35].

Работа Слугина А.И. [85] была посвящена исследованиям проектирования тканей из арамидной пряжи, по заданной поверхностной плотности, при этом необходимо учесть строение тканей (особенно порядок фазы строения) и прочностные показатели.

Прочностные показатели достигаются использованием арамидных нитей и пряжи.

Исследования показали, что баллистическая стойкость тканей из регенерированных арамидных штапельных волокон лишь на 16,5% ниже баллистической стойкости тканей из параарамидных комплексных нитей, результаты были получены на тканях с поверхностной плотностью 340-420 г/м².

Основная часть кинетической энергии пули или осколка рассеивается за счет взаимного перемещения нитей и волокна под воздействием баллистического снаряда.

Изготовление бронепакета из пряжи регенерированного арамидного волокна приводит к снижению защитных характеристик, но с увеличением поверхностной плотности снижение уменьшается, соответственно приводит к уменьшению стоимости бронирования.

И.А. Беспалов и П.П. Тимофеев [8] провели исследования на противоосколочную стойкость средств индивидуальной защиты (СИЗ) оценивается расчетно-экспериментальным методом, включающим натурный обстрел образца моделированными осколками (стальными шариками массой $M_{ш} = 1,05$ г) по биномиальной схеме Бернулли, с фиксацией значений скорости «пробития - непробития» в каждом выстреле и последующим расчетным определением показателя V_{50} – «50%-го непробития (пробития)».

На основе энергетического подхода проанализированы основные закономерности пробития текстильных бронепакетов, получены аналитические зависимости для предельной скорости пробития и баллистической энергоемкости текстильных бронепакетов. Показано, что влияние влажности на баллистическую стойкость текстильных бронепакетов проявляется через уменьшение деформированного объема вследствие уменьшения скорости распространения упругих про-

дольных волн в нитях, содержащих воду. Объяснено влияние свойств материала подложки на баллистическую стойкость текстильных бронепакетов.

Баллистическая стойкость текстильной брони определяется ее способностью преобразовывать кинетическую энергию ударника в упругую энергию растяжения нитей слоев ткани, из которых состоит бронепакет. Оценить предельную скорость пробития бронепакета можно, приравняв кинетическую энергию ударника – пули или осколка – к максимальной упругой энергии, которую может запасти бронепакет без разрушения нитей [3, 4, 6, 9, 27, 83, 84].

В общем случае кинетическая энергия пули в процессе ее взаимодействия с текстильным бронепакетом расходуется на:

- 1) работу деформирования нитей при их растяжении;
- 2) работу сил трения при перемещении нитей относительно ткани как в продольном направлении (вытягивание нитей), так и в поперечном (раздвигание нитей);
- 3) сообщение нитям ткани кинетической энергии вследствие их ускорения как в плоскости ткани, так и в направлении проникания пули;
- 4) работу вытеснения материалов подложки при образовании каверны.

В общий баланс энергий и работ следует включить также работу деформирования и разрушения пули, работу сил трения при проникании пули через бронепакет, тепловые потери и другие менее значимые составляющие. Поскольку при ударном взаимодействии часть слоев ткани оказывается пробитой, то работа деформирования нитей этих слоев ткани преобразуется в работу их разрушения. Работа деформирования остальных слоев ткани преобразуется в упругую энергию их растяжения [28].

Уменьшение баллистической энергоемкости текстильного бронепакета с увеличением скорости пули объясняется уменьшением деформированного объема вследствие сокращения времени взаимодействия пули с бронепакетом.

Отрицательным свойством текстильной брони является снижение ее баллистической стойкости при намокании. Экспериментальное исследование влияния влажности текстильных бронепакетов на их баллистическую стойкость осуществ-

лялось на бронепакетах, подвергнутых замачиванию в воде в течение 1 часа. Влажность бронепакетов рассчитывалась как отношением массы воды в бронепакете к массе сухого бронепакета. В результате обстрела определялись 50%-ные скорости пробития сухого и мокрого бронепакетов.

Снижение баллистической стойкости влажных бронепакетов объясняется уменьшением работы сил трения при перемещении нитей вследствие уменьшения коэффициента трения между ними – вода играет роль смазки. В соответствии с развиваемой в настоящей работе энергетической концепцией влияние влажности на баллистическую стойкость текстильных бронепакетов проявляется через уменьшение деформированного объема вследствие уменьшения скорости распространения продольных волн в нитях, содержащих воду [28, 29-33].

Баллистическая стойкость текстильной брони определяется ее способностью преобразовывать кинетическую энергию ударника в упругую энергию растяжения нитей слоев ткани, из которых состоит бронепакет. Такое преобразование энергии при поперечном ударе по текстильному пакету осуществляется системой продольных и поперечных волн, распространяющихся в нитях. Для реализации механизма деформирования нитей в продольных и поперечных волнах необходимо согласованное движение нитей и ударника. Вовлечение в движение первоначально покоящихся слоев ткани осуществляется ударной волной или волной сжатия, образующейся в пакете на начальной стадии взаимодействия ударника с текстильным пакетом. В этой волне сжатия происходит не только ускорение слоев ткани, но и уплотнение пакета, выборка зазоров, начальное натяжение нитей, образование крестообразной структуры, формирующей силу сопротивления движению ударника [1, 29, 55-58, 77-79].

При выходе волны сжатия на границу раздела текстильного бронепакета с подложкой, в зависимости от сжимаемости и инерционности материала подложки, возможно отражение волны сжатия (пластилиновая подложка) или волны разрежения (отсутствие подложки или легкая подложка из эластичных пенопластов).

Отраженная волна сжатия тормозит движение слоев ткани, что приводит к увеличению давления в зоне воздействия ударника и, как следствие, к возможно-

сти пробития по сдвиговому механизму нескольких дополнительных слоев ткани. В итоге – ослабление бронепакета, уменьшение его баллистической стойкости. В последующие моменты времени наличие плотного инерционного материала подложки также затрудняет формирование деформационного купола, что отрицательно сказывается на баллистической стойкости бронепакета, поскольку ограничивает основной механизм поглощения кинетической энергии ударника путем ее преобразования в упругую энергию растяжения нитей [29-33, 77-79].

Отраженная волна разрежения, наоборот, ускоряет движение тыльных слоев ткани, что приводит к расслоению текстильного пакета, уменьшает коллективную сопротивляемость слоев ткани. В итоге – также ослабление баллистической стойкости текстильного бронепакета.

Для обеспечения максимальной баллистической стойкости текстильных бронепакетов сжимаемость материала подложки должна быть максимально близка к сжимаемости текстильного бронепакета. В этом случае амплитуда отраженных волн будет мала и их ослабляющим влиянием на баллистическую стойкость бронепакетов можно пренебречь. Войлок, по-видимому, в наибольшей степени из исследованных материалов соответствует этому условию и поэтому обеспечивает максимальную скорость пробития бронепакетов среди других исследованных материалов подложки [9, 29-33]. Баллистическая стойкость текстильной брони определяется ее способностью преобразовывать кинетическую энергию ударника в упругую энергию растяжения нитей слоев ткани, из которой состоит бронепакет. Исходя из этой концепции установлено, что:

1. Предельная скорость пробития текстильного бронепакета пропорциональна произведению скорости продольных волн в нитях на предельную деформацию их удлинения $v_{\text{псп}} \sim c\varepsilon_p$.

2. Предельная скорость пробития бронепакетов из одинаковых тканей одинаковыми ударниками пропорциональна кубическому корню из числа слоев ткани

$$v_{\text{псп}} \sim \sqrt[3]{n}.$$

3. Оптимальному текстильному материалу для баллистической защиты соответствует максимум параметра $J = v_{\text{псп}} / \sqrt[3]{nm_T}$, определяемого по паспортным характеристикам тканей и результатам баллистических испытаний.

4. Баллистическая энергоемкость текстильного бронепакета прямо пропорциональна количеству слоев ткани n и обратно пропорциональна скорости соударения ударника с бронепакетом.

5. Влияние влажности на баллистическую стойкость текстильных бронепакетов проявляется через уменьшение деформированного объема вследствие уменьшения скорости распространения продольных волн в нитях, содержащих воду.

6. Влияние плотности и сжимаемости материала подложки на баллистический предел пробития текстильного бронепакета зависит от вида и амплитуды отраженной от подложки волны. Для обеспечения максимальной баллистической стойкости текстильных бронепакетов динамическая сжимаемость материала подложки должна быть максимально близка к динамической сжимаемости текстильного бронепакета [9, 29-33].

Несмотря на сложность и многофакторность механизма взаимодействия различных ударников с текстильной броней, интегральной характеристикой защитных свойств, является энергия, поглощаемая защитной структурой.

В НИИ Стали широко используется метод определения энергоемкости защитных структур, основанный на измерении ударной скорости пули или имитатора осколка и скорости после пробития защиты, позволяющий рассчитать энергию, затраченную на пробитие. Метод идеально подходит для исследования текстильной брони, поскольку в этом случае не происходит деформации и разрушения стального ударника и разница значений его кинетической энергии до и после соударения определяет энергию, поглощенную преградой [36-39]

По результатам экспериментов выявлена достаточно сильная зависимость энергоемкости конкретной защитной структуры от величины ударной скорости, при этом с увеличением значения скорости энергоемкость уменьшается, при изменении скорости имитатора осколка от 450 до 1100 м/с энергоемкость снижается в 2 раза.

Разработана инженерная методика и программа расчета баллистической стойкости тканевых защитных структур. Исходными данными являются энергоемкость единичного слоя, скорость удара и количество слоев. В результате расчета определяются количество пробитых слоев, послойно поглощенная энергия и тыльная скорость. Опыты показывают, что энергоемкость возрастает от лицевых слоев к тыльным, достигая в тыльных слоях уровня поглощаемой энергии 7...7,5 Дж на один слой [9, 29-33, 40-43].

Из анализа исследований можно сделать вывод о том, что изучение в области таких свойств, как антипрокол и стойкость к прорезанию (антипрорез) не было уделено достаточного внимания, поэтому будет целесообразным в данной области провести исследования направленные на изучение вышеупомянутых свойств и их характеристик, актуальность данной задачи обусловлена устойчивой или с вялотекущими изменениями криминогенной ситуации в обществе, где вероятность опасности причинения различной степени тяжести вреда здоровью или смерти, от огнестрельного оружия оказывается меньше, чем причинение вреда здоровью или смерти человеку от холодного оружия или иных предметов с использованием мускульной силы.

Выводы по главе

1. В настоящее время вопросом защиты человека от различных видов внешних воздействий уделяется достаточно много внимания. Для решения данной проблемы широко используются средства индивидуальной защиты, которая должна отвечать конкретным условиям эксплуатации.

2. Приведена классификация холодного оружия и некоторые конструктивные особенности, а также дан анализ стандартов на защиту от холодного оружия в различных странах.

3. Представлена классификация показателей качества бронежилетов.

4. Дан анализ работ по оценке качества различных видов параарамидных нитей и рассмотрено влияние на свойства готовой продукции.

5. Из анализа литературных источников можно сделать вывод о том, что практически отсутствуют исследования таких свойств как антипрокольные (усилие прокола) и антипрорезные (нагрузка при прорезании) для бронежилетов.

6. Целесообразно провести исследования, направленные на изучение вышеуказанных свойств и их характеристик с целью улучшения защитных свойств бронежилета.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТКАНИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

2.1. Выбор объектов исследования

На основе данных, приведенных в литературных источниках, выявлено, что баллистические ткани из параарамидных нитей теряют прочность в мокром состоянии [16, 17, 26, 93, 94]. В связи с этим целесообразно оценить изменение усилия прокола и нагрузки при прорезании образцов, подвергавшихся воздействию влаги.

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 2.1.

Таблица 2.1 – Структурные характеристики тканей для бронежилетов

Показатель качества	Обозначение	арт. 86144	арт. 86136	арт. 86294	арт. 53631	арт. 84127
1	2	3	4	5	6	7
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
Линейная плотность ткани, г/м	M'	130,4	81,7	110,2	69,4	57,5

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7
Поверхностная плотность ткани, г/м ²	M_1	164,5	168,4	152,6	187,0	152,0
Линейное заполнение по основе, %	E_o	48,0	42,9	62,1	51,0	60,0
Линейное заполнение по утку, %	E_y	44,8	46,2	55,2	49,5	50,4
Поверхностное заполнение, %	E_s	71,3	69,3	83,0	75,3	80,2
Объемное заполнение, %	E_v	85,7	92,8	85,7	88,5	94,3
Заполнение массы ткани, %	E_m	46,2	50,0	46,2	47,7	50,8
Поверхностная пористость, %	R_s	28,7	30,7	17,0	24,7	19,8
Объемная пористость, %	R_v	14,3	7,2	14,3	11,5	5,7
Общая пористость, %	R_m	53,8	50,0	53,8	52,3	49,2
Переплетение		Саржевое	Атласное	Плотняное	Вафельное	Плотняное

По таблице 2.1 можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшую поверхностную плотность имеет ткань арт. 53631, что обусловлено тем, что у данного образца наибольшая плотность по основе и утку, в то время как наименьшей поверхностной плотностью обладает ткань арт. 86294 плотняного переплетения.

2. Наибольшей плотностью по основе и утку обладает ткань арт. 53631 вафельного переплетения.

3. Наименьшим заполнением обладает ткань арт. 86144, а наибольшую величину имеет ткань арт. 84127.

4. Наибольшую пористость имеет ткань арт. 86144 саржевого переплетения, а наименьшей величиной обладает ткань арт. 84127 плотняного переплетения.

2.2. Физические свойства баллистических тканей

Для оценки воздействия влаги на баллистические ткани было проведено исследование капиллярности и водопоглощения. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 3816-81 [38, 39].

Для исследования были выбраны первые три образца, отличавшиеся не только геометрическими параметрами строения, но и видом переплетения. Физические свойства баллистических тканей приведены в таблице 2.2 и на рисунках 2.1 – 2.2.

Таблица 2.2 – Физические свойства баллистических тканей

Вид испытания	арт. 86144 – саржевое переплетение	арт. 86136 – атласное переплетение	арт. 86294 – полотняное переплетение
1	2	3	4
Капиллярность, мм	64	53	12
Водопоглощение, %	96,2	86,4	98,5

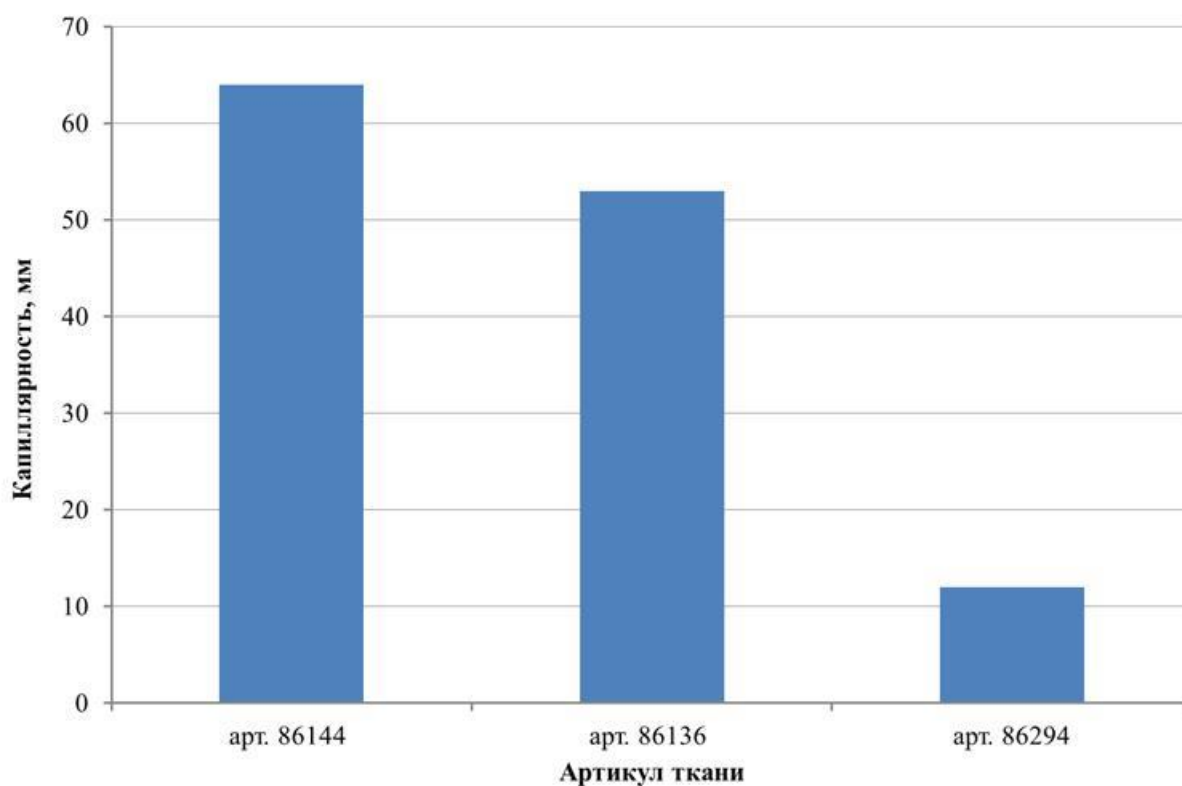


Рисунок 2.1 - Капиллярность баллистических тканей

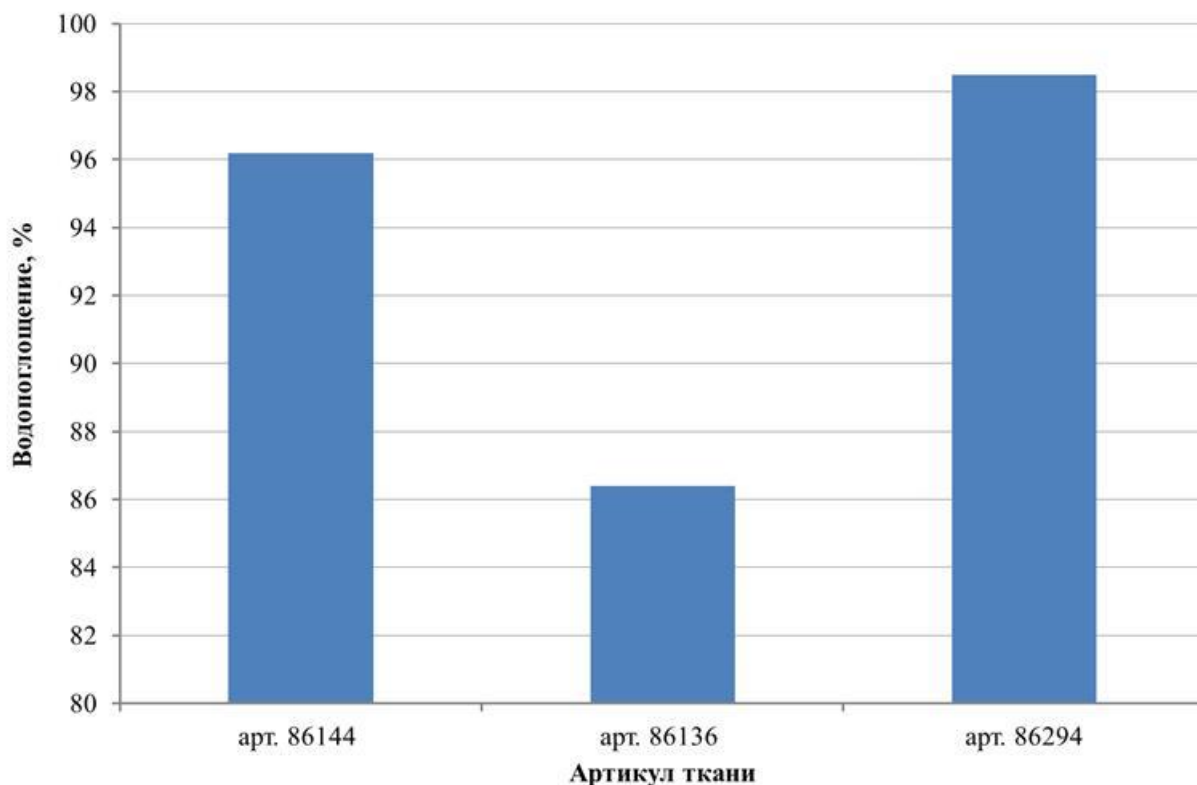


Рисунок 2.2 – Водопоглощение баллистических тканей

По таблице 2.2 можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшая капиллярность наблюдается у арт. 86144 саржевого переплетения, а наименьшая капиллярность - у арт. 86294 полотняного переплетения.
2. Наибольшее водопоглощение у арт. 86294 полотняного переплетения, на втором месте саржевое переплетение, а наименьшее водопоглощение – у арт. 86136 атласного переплетения.

2.3. Раздвигаемость баллистических тканей

Так как механические воздействия приводят к изменению пространственной ориентации нитей баллистических тканей, следовательно, в работе проведен ряд испытаний на раздвигаемость нитей в тканях.

Исследования проводились для исходного и мокрого образцов. Исходным является образец, выдержанный в нормальных климатических условиях, а мокрым является образец после полного погружения в воду.

Характеристики раздвигаемости тканей приведены в таблице 2.3. На рисунках 2.3 – 2.4 приведена гистограмма раздвигаемости тканей.

Таблица 2.3 – Стойкость к раздвигаемости баллистических тканей

Наименование показателя	арт. 86144 - саржевое переплетение		арт. 86136 – атласное переплетение		арт. 86294 – полотняное переплетение	
	Основа	Уток	Основа	Уток	Основа	Уток
1	2	3	4	5	6	7
Исходный образец, кгс	1,4	1,3	1,0	0,8	2,8	2,6
Мокрый образец, кгс	1,0	0,8	0,6	0,5	2,0	1,7

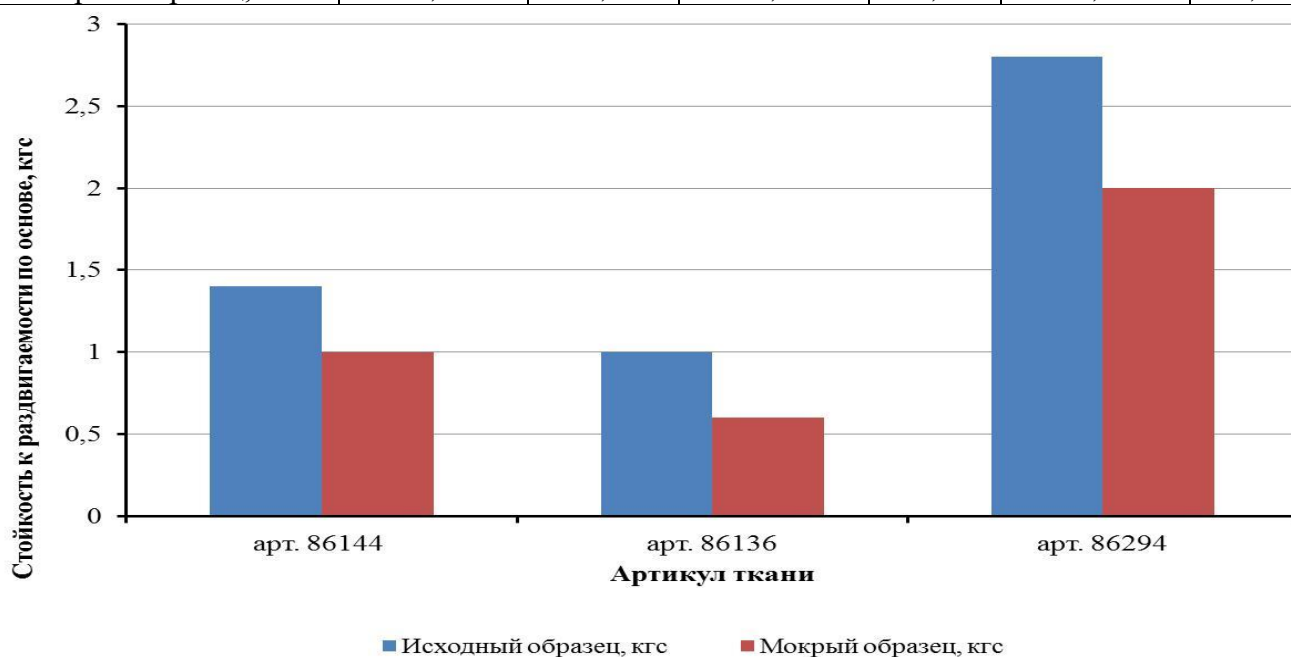


Рисунок 2.3 – Раздвигаемость баллистических тканей по основе

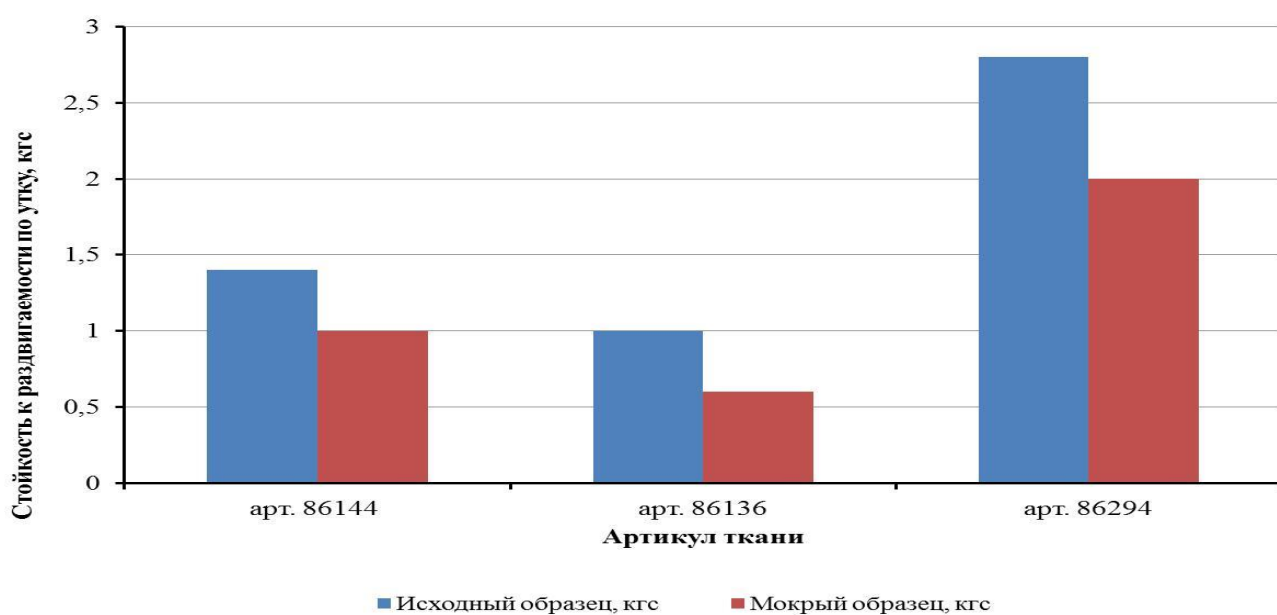


Рисунок 2.4 – Раздвигаемость баллистических тканей по утку

Анализ полученных данных показывает, что наибольшая стойкость к раздвигаемости наблюдается у арт. 86294 полотняного переплетения. Стойкость к истиранию полотняного переплетения не зависит от влажности. В зависимости от нахождения образца в мокром состоянии раздвигаемость арт. 86144 и арт. 86136 уменьшается. В мокром состоянии увеличивается гладкость поверхности нитей, что приводит к уменьшению усилия при раздвигаемости. Наименьшая раздвигаемость отмечается у арт. 86144 саржевого переплетения.

2.4. Механические свойства баллистических тканей при многократном воздействии

Для проведения испытаний применялась универсальная испытательная система «Инстрон» серии 4411 (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Испытательная система Инстрон

Для проведения испытаний был изготовлен специальный зажим для разрывной машины «Инстрон» (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Зажим для разрывной машины «Инстрон»

Для прорезания были изготовлены насадки в виде одностороннего и двухстороннего ножей (рисунок 2.7, а, б).

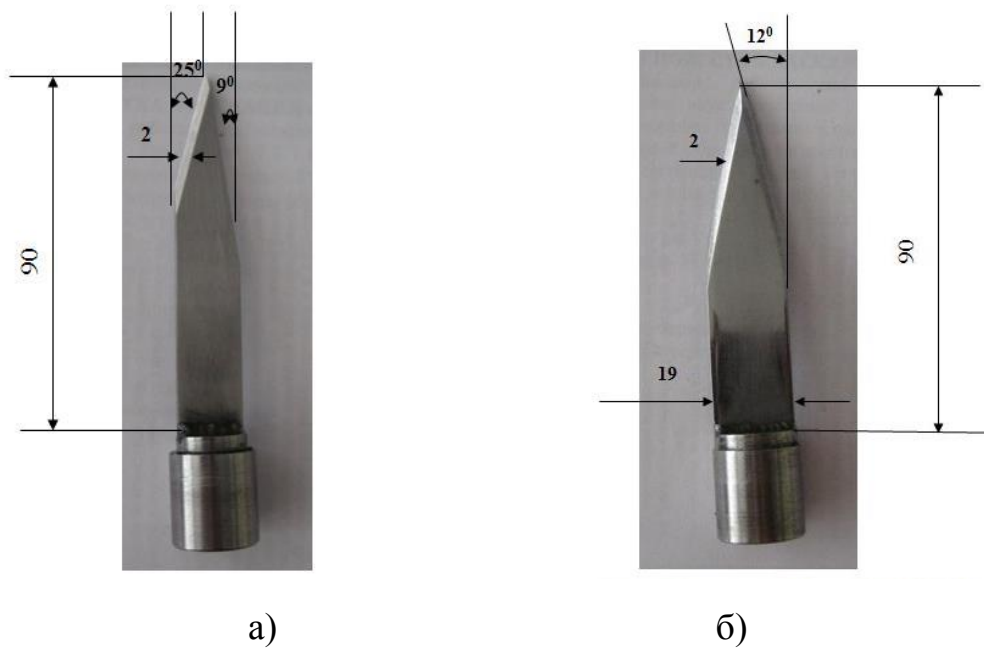


Рисунок 2.7 – Насадка в виде ножа:

а) с одним острым краем, б) с двумя острыми краями

Для определения усилия прокола использовались разрывная машина «Инстрон». Для разрывной машины «Инстрон» использовалась насадка в виде пики, геометрические размеры которой приведены на рисунке 2.8.

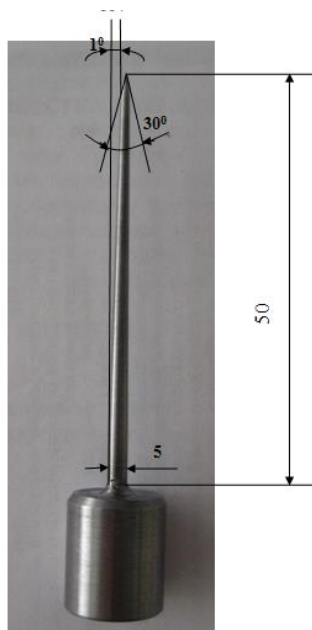


Рисунок 2.8 – Насадка в виде пики

Рассмотрено поведение образцов при многократном воздействии на ограниченном участке. Для этого были подготовлены образцы по схеме, представленной на рисунке 2.9.

Расстояние между точками составляет 30 мм.

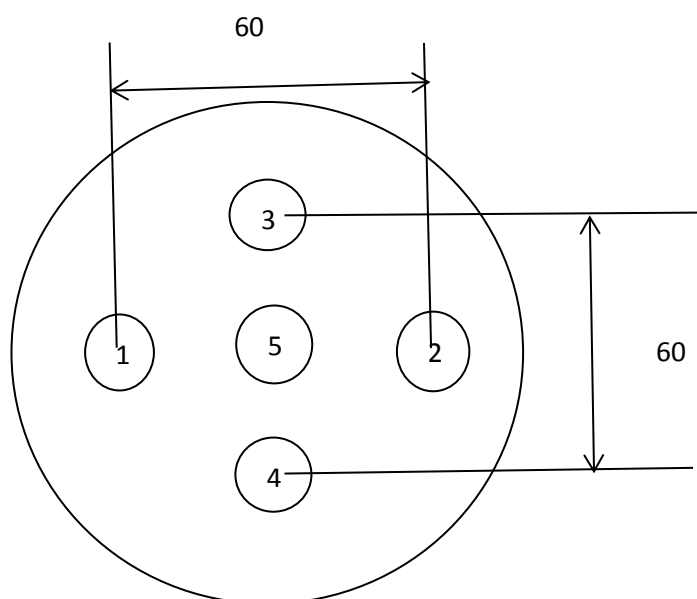


Рисунок 2.9 – Расположение точек прокола для тканей

Испытания проводились на испытательной системе Инстрон серии 4411 при скорости движения насадки 500 мм/мин.

В таблице 2.4 приведены результаты определения механических свойств баллистических тканей, полученные при повреждении в нескольких местах тканей арт. 86144, арт. 86136 и арт. 86294. Последовательность проколов – 1, 2, 3, 4, 5.

Таблица 2.4 – Механические свойства тканей арт. 86144, арт. 86136 и арт. 86294, полученные при повреждении в нескольких местах

Наименование показателя	Нагрузка при прорезании однозаточенным ножом, Н		Нагрузка при прорезании двухзаточенным ножом, Н		Усилие прокола пикой, Н	
	Исходный образец	Мокрый образец	Исходный образец	Мокрый образец	Исходный образец	Мокрый образец
1	2	3	4	5	6	7
арт. 86144						
Прокол 1	13,82	6,92	15,13	8,92	14,22	3,61
Прокол 2	13,04	5,83	13,72	6,73	12,94	2,82
Прокол 3	13,22	5,61	13,77	6,44	12,53	2,78
Прокол 4	13,73	5,84	14,75	6,79	12,57	2,86
Прокол 5	15,54	8,85	17,16	9,81	15,75	3,73
арт. 86136						
Прокол 1	15,81	6,96	17,01	7,01	14,12	3,72
Прокол 2	14,25	4,61	15,32	6,02	12,63	2,20
Прокол 3	14,06	4,22	15,33	5,07	12,21	2,24
Прокол 4	13,57	5,64	16,37	7,65	12,82	3,05
Прокол 5	19,75	8,22	18,14	8,01	15,04	4,72
арт. 86294						
Прокол 1	11,81	6,12	13,64	7,95	14,9	3,41
Прокол 2	10,42	5,21	11,93	6,71	12,92	2,84
Прокол 3	10,23	4,82	12,05	6,82	11,20	2,82
Прокол 4	10,27	4,23	13,87	7,85	12,91	3,82
Прокол 5	13,25	8,21	15,98	9,17	16,23	5,07

Из таблицы 2.4 можно сделать вывод о том, что максимальная нагрузка при прорезании и усилие прокола приходятся на точку 5, которая расположена в центре образца. Это происходит по причине смещения нитей после предыдущих проколов или порезов к центру, тем самым увеличивается плотность заполнения нитями, что в свою очередь влияет на усилие, которое нужно приложить для прореза или прокола ткани.

Также нагрузка при прорезании двузаточенным ножом выше, чем однозаточенным, так как при проникновении лезвия, заточенного с двух сторон, сквозь ткань, нити разрезаются. Наличие двух лезвий создает большее сопротивление по сравнению с ножом, у которого одно лезвие, а другая сторона гладкая. В этом случае лезвие с одной стороны разрезает нити в ткани, а с другой стороны ткань скользит по гладкой поверхности ножа, обеспечивая лучшее проникновение в ткань за счет меньшего трения. В мокром состоянии все образцы снижают прочность при воздействии ножами и пикой.

2.5. Исследование влияния количества слоев баллистических тканей на усилие прокола

Ткани из параарамидных нитей используются для изготовления средств индивидуальной бронезащиты, которые должны обеспечивать защиту, как от огнестрельного, так и от холодного оружия. Причинить вред здоровью или смерть можно различными видами холодного оружия, каждое из которых имеет свои особенности в конструкции. В ГОСТ Р 50744-95 средством поражения является штык нож к автомату АК-74 и его модификациям, данное средство поражения по механике поражения 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 на ткань, необходимо использовать пикку.

Современные виды бронежилетов представляют многослойные пакеты. В работе были проведены испытания для различных видов текстильных материалов при варьировании количества слоев, скорости движения индентора и влажности ткани [12, 15, 100, 101, 102].

Результаты испытаний на прокол пикой приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты определения усилия прокола пикой тканей для бронезилетов

Количество слоев	арт.86144 – саржевое переплетение		арт.86136 – атласное переплетение		арт.86294 – полотняное переплетение		арт.53631 – вафельное переплетение		арт.84127 – полотняное переплетение	
	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Влажность ткани 40%, скорость движения индентора 100 мм/мин										
1	14,2	2,64	14,1	2,64	14,9	2,81	14,7	1,54	14,4	2,75
2	23,4	2,61	22,1	2,61	25,3	2,66	25,7	1,49	25	2,32
4	27	2,58	26,7	2,57	29,6	2,62	29,3	1,29	29	2,14
6	31	1,62	30,2	2,22	33,2	2,41	32,8	0,97	33,3	1,97
8	35,8	1,54	34,5	2,02	36	2,13	35,3	0,87	37,7	1,75
Влажность ткани 40%, скорость движения индентора 250 мм/мин										
1	15,1	2,67	15,5	1,76	15,7	1,96	15,1	1,80	15	2,58
2	24,4	2,28	23,9	1,72	24,5	1,82	23,5	1,74	24,9	2,36
4	28,3	1,66	29,8	1,67	29	1,72	28,8	1,69	30,8	1,85
6	32,4	1,35	33,3	1,24	32,1	1,54	33,5	1,42	35,7	1,66
8	37,2	1,15	36,1	1,01	35,8	1,26	38,3	1,27	40,5	1,43
Влажность ткани 40%, скорость движения индентора 500 мм/мин										
1	16,1	2,10	16,4	2,05	16,3	2,48	16,3	2,22	15,8	2,86
2	25,6	2,03	24,6	2,03	24,8	2,37	22,8	2,10	25	2,63
4	30,5	1,85	29,8	1,95	31	2,05	28,4	1,88	29,6	2,15
6	34	1,67	32,8	1,75	35,7	1,84	32,2	1,71	35,5	1,85
8	38,5	1,41	36,3	1,59	39,2	1,72	36,7	1,56	43,8	1,71

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Влажность ткани 65%, скорость движения индентора 100 мм/мин										
1	6,7	1,59	6,9	1,61	6,8	1,68	5,6	1,86	6,3	2,13
2	10,3	1,57	12,1	1,57	14,3	1,60	14,2	1,68	16,8	1,85
4	16,7	1,42	17,6	1,54	18,7	1,58	17,8	1,56	18,1	1,69
6	20,2	1,39	21,5	1,42	23,2	1,46	24,6	1,41	25,7	1,53
8	24	1,22	26	1,02	27	1,11	26	1,21	29,4	1,41
Влажность ткани 65%, скорость движения индентора 250 мм/мин										
1	7,8	1,84	8	1,80	7,2	1,85	6,5	1,77	8	2,14
2	9,4	1,76	9,1	1,68	8,1	1,85	7,7	1,56	11	1,96
4	12,6	1,72	11	1,67	12,1	1,67	10,8	1,45	14,2	1,78
6	15	1,59	16,5	1,51	16,7	1,49	14,3	1,23	17,4	1,61
8	18,4	1,32	18,3	1,24	18,5	1,11	17,1	1,03	20,2	1,43
Влажность ткани 65%, скорость движения индентора 500 мм/мин										
1	8,2	2,12	8,2	2,20	7,8	2,17	7,6	2,24	8,4	2,61
2	11	2,03	12,2	2,05	10,7	2,10	11,8	2,12	12,6	2,48
4	14,6	1,95	13	1,88	13,7	2,08	14,2	1,85	15,7	2,18
6	15,3	1,81	14,5	1,66	16,2	1,84	16,7	1,71	16,8	1,94
8	17,1	1,62	17,2	1,34	18,1	1,71	18,3	1,45	17,8	1,72
Влажность ткани 90%, скорость движения индентора 100 мм/мин										
1	3,6	3,02	3,7	3,05	3,4	2,78	4,1	2,31	4,1	2,57
2	7,7	2,86	7,8	2,73	7,3	2,57	6,9	2,14	6,8	2,36
4	8,4	2,56	8,8	2,47	8,9	2,36	8,5	1,86	8,6	2,16
6	9,5	2,31	9,4	2,31	10,3	2,18	9,6	1,61	9,1	1,91
8	12,4	2,10	12,3	2,03	13,2	1,81	12,5	1,52	12	1,73

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Влажность ткани 90%, скорость движения индентора 250 мм/мин										
1	4,5	2,74	4,9	2,96	4,3	2,91	5,1	2,64	4,4	2,79
2	7,5	2,56	8,2	2,78	7,1	2,71	8,8	2,31	7,4	2,63
4	8	2,30	8,6	2,56	7,8	2,63	9,3	2,15	8,1	2,45
6	8,7	2,01	9	2,13	8,4	2,34	9,7	1,91	8,4	2,03
8	11,6	1,75	11,9	1,94	11,3	2,10	12,6	1,75	11,3	1,88
Влажность ткани 90%, скорость движения индентора 500 мм/мин										
1	5,1	2,57	5,4	2,81	5,7	3,04	5,3	2,80	5	3,27
2	8,5	2,31	9,1	2,61	9,5	2,71	8,9	2,78	8,4	3,06
4	9,5	2,14	10,5	2,45	10,7	2,56	10	2,56	11	2,81
6	10,8	1,85	11	2,11	11,6	2,13	11,3	2,33	11,4	2,45
8	13,7	1,64	13,9	1,86	14,5	1,94	14,2	2,01	14,3	2,15

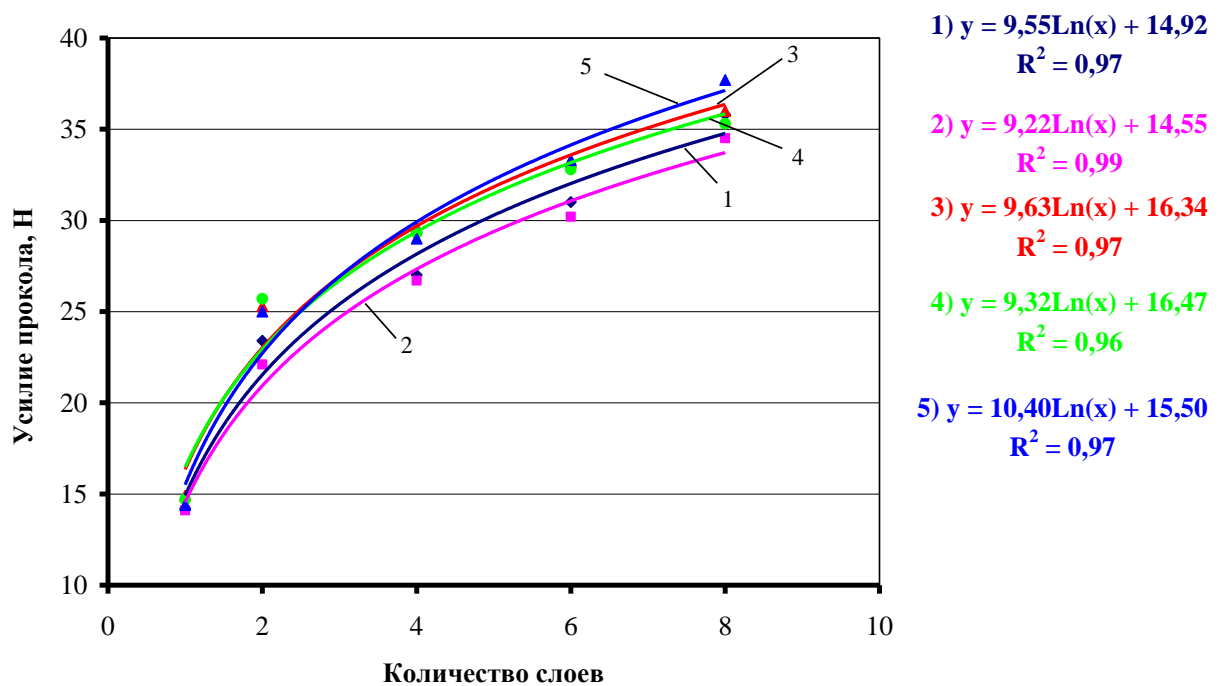
Из таблицы 2.5 видно, что с увеличением количества слоев усилие прокола увеличивается, а с увеличением влажности – уменьшается. С увеличением скорости движения индентора усилие прокола увеличивается.

На рисунках 2.10 – 2.18 приведены зависимости усилия прокола от количества слоев параарамидной ткани.

Данная зависимость определяется логарифмической функцией:

$$y = a \ln(x) + b, \quad (2.1)$$

где y – усилие прокола, Н;
 x – количества слоев;
 a, b – расчетные коэффициенты.



1) \blacklozenge арт. 86144 2) \blacksquare арт. 86136 3) \blacktriangle арт. 86294 4) \bullet арт. 53631 5) \blacktriangle арт. 84127

Рисунок 2.10 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 100 мм/мин от количества слоев

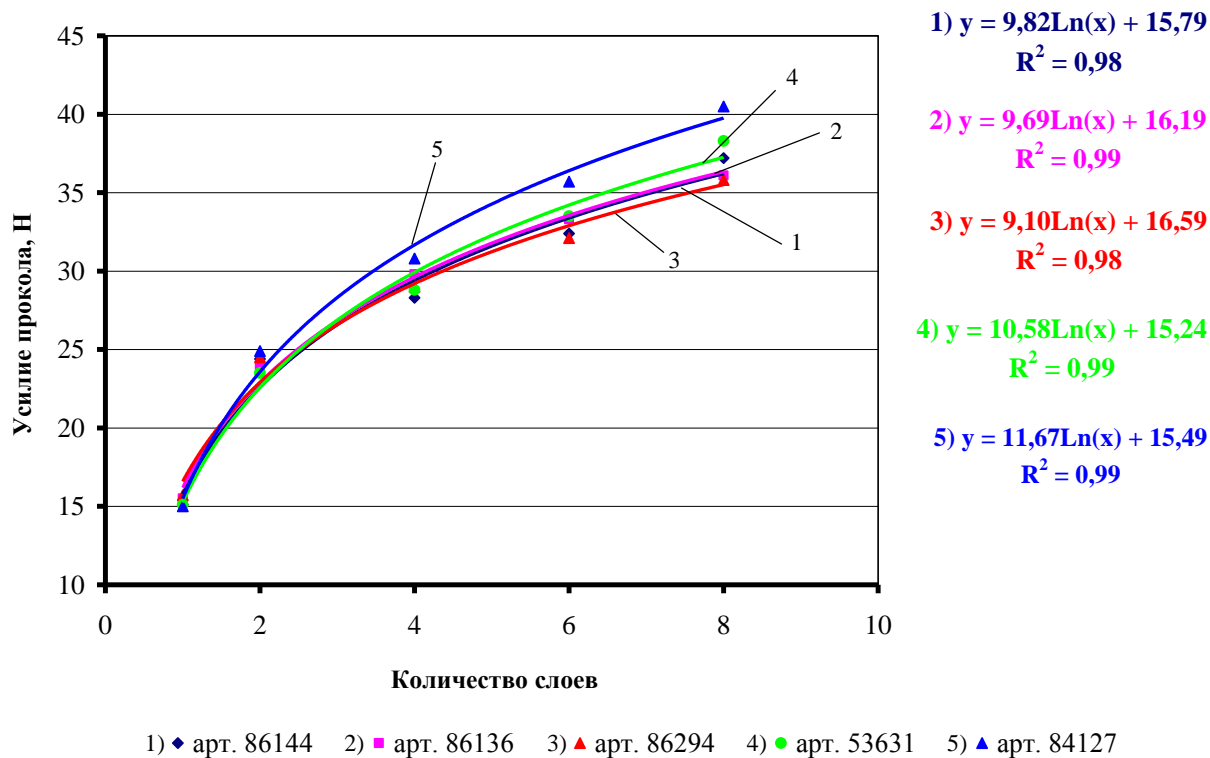


Рисунок 2.11 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 250 мм/мин от количества слоев

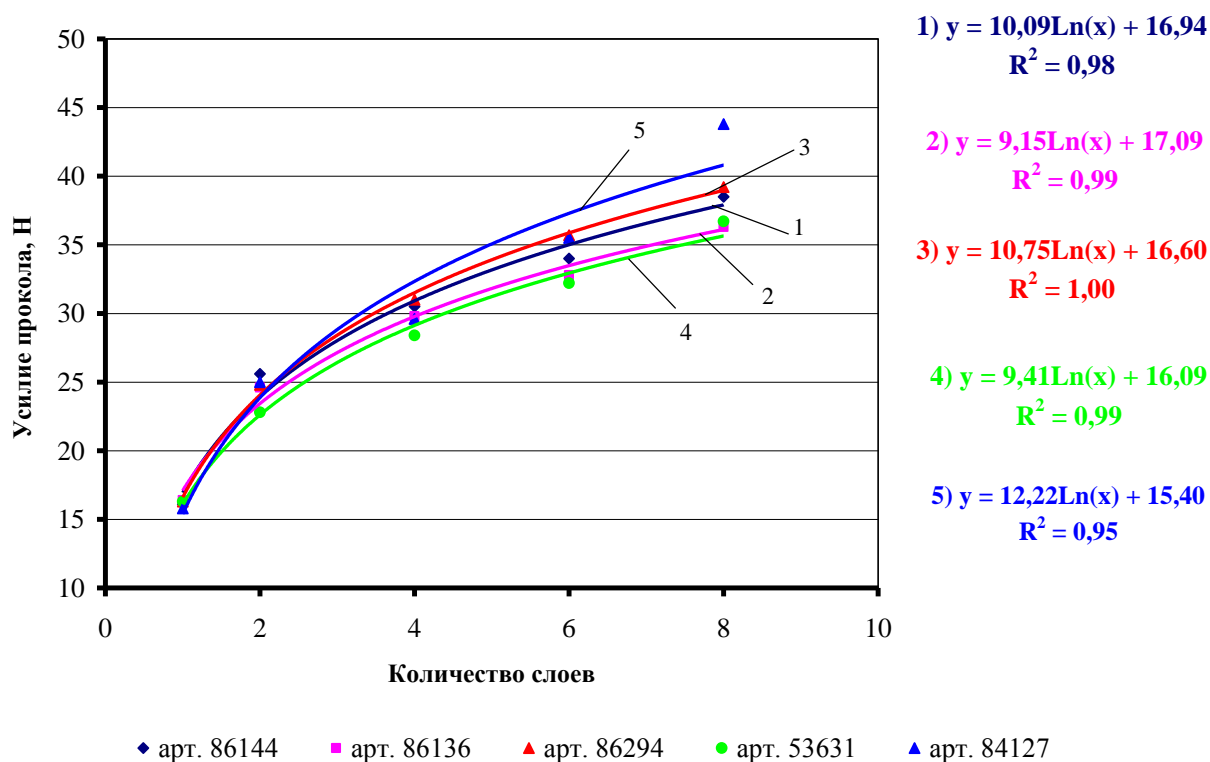


Рисунок 2.12 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 500 мм/мин от количества слоев

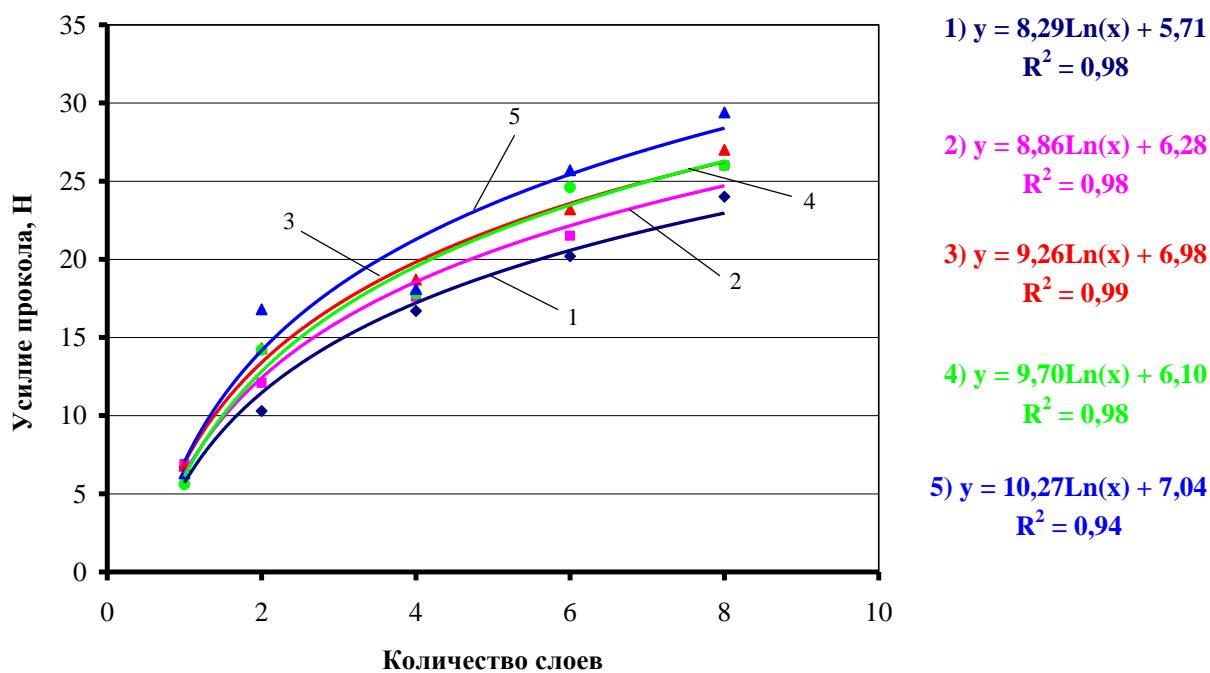


Рисунок 2.13 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 100 мм/мин от количества слоев

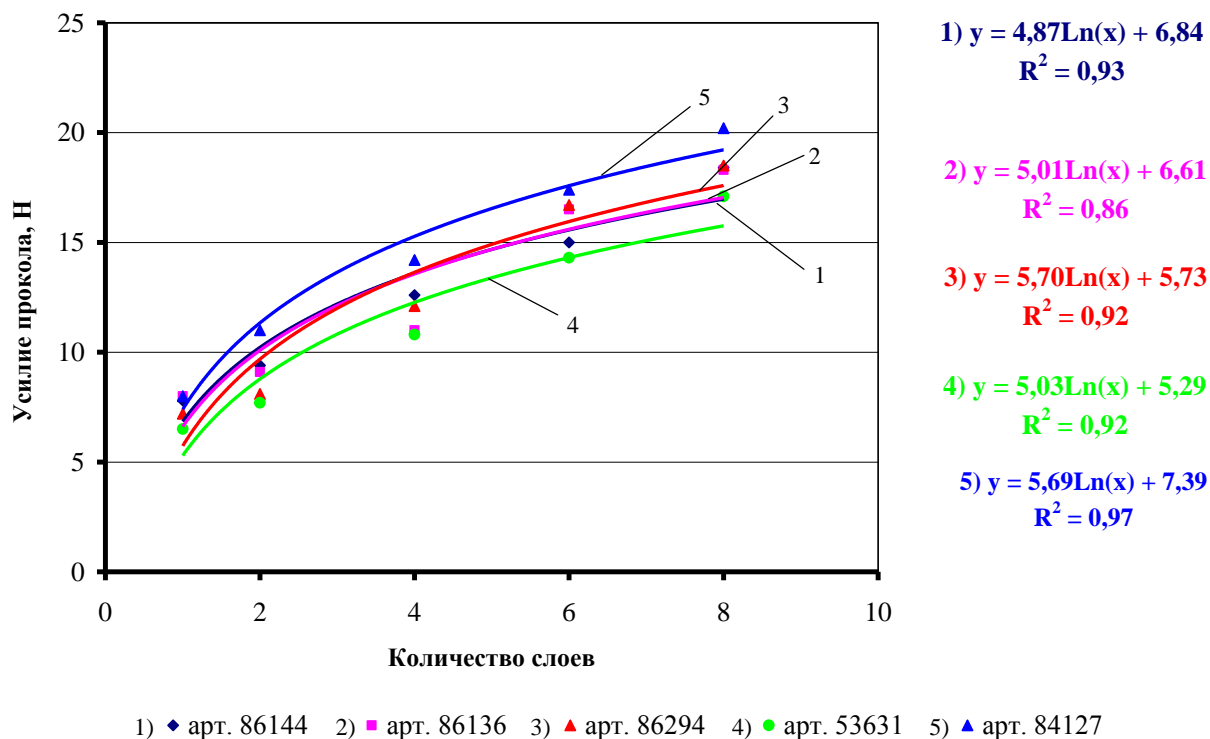


Рисунок 2.14 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 250 мм/мин от количества слоев

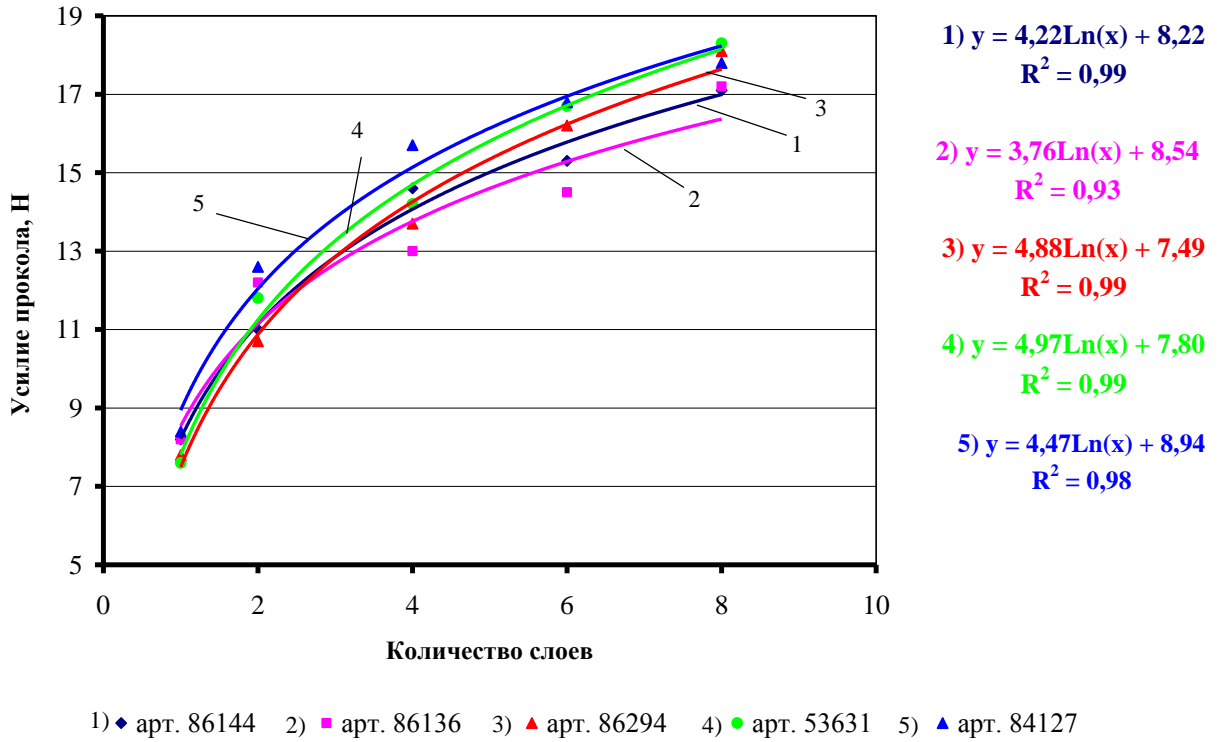


Рисунок 2.15 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 500 мм/мин от количества слоев

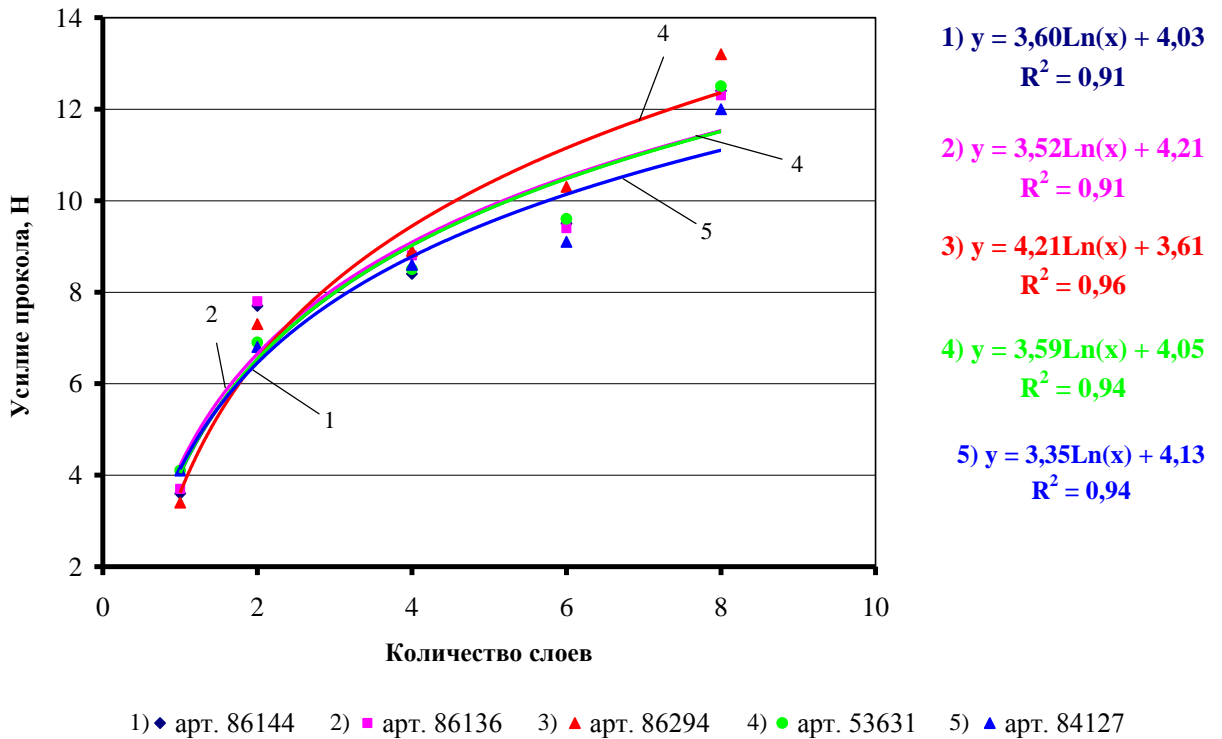


Рисунок 2.16 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 100 мм/мин от количества слоев

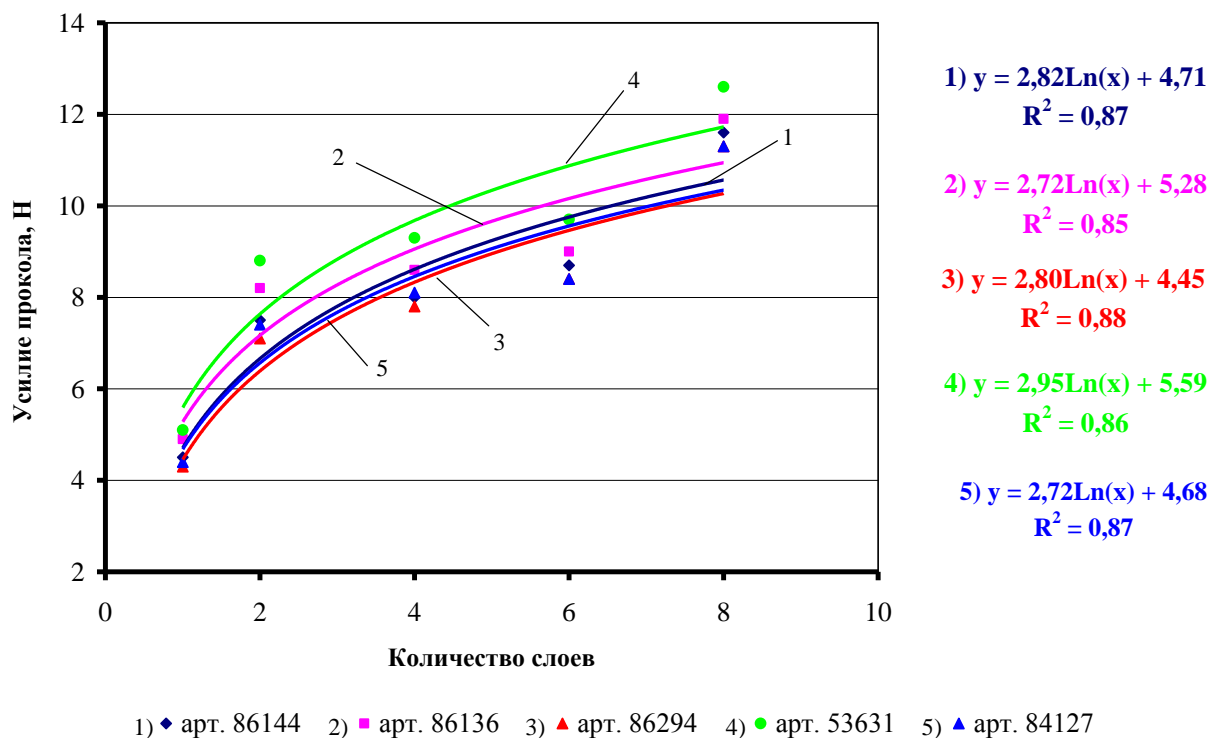


Рисунок 2.17 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 250 мм/мин от количества слоев

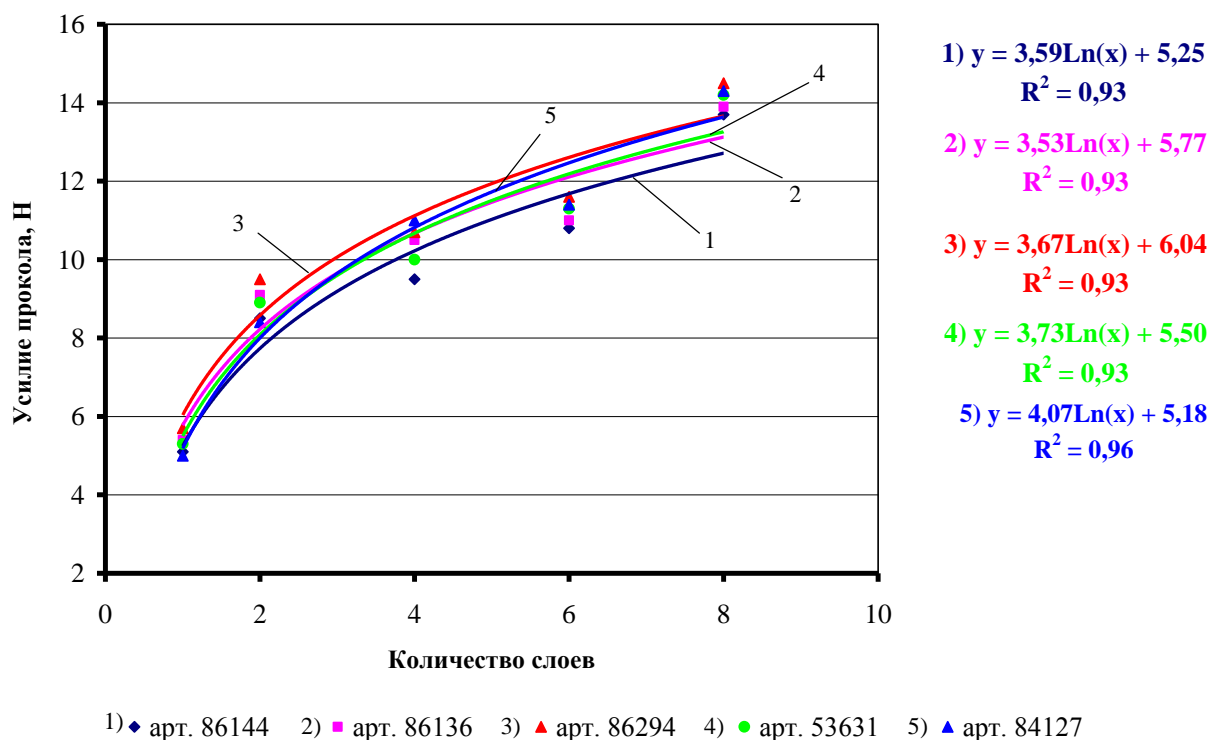


Рисунок 2.18 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 500 мм/мин от количества слоев

На начальном этапе при испытании ткани в один слой практически не наблюдается различий в результатах испытаний, так как пика имеет острый наконечник, гладкую поверхность и малый диаметр в поперечнике, что позволяет ей легко проникать сквозь материал, независимо от его структурных характеристик.

При увеличении количества слоев происходит увеличение усилия прокола.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 40% и скорости движения индентора 100 мм/мин (рисунок 2.10) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 86294, так кривая, соответствующая данной зависимости имеет наибольший наклон, а наименьшее – арт. 86144, кривая, соответствующая данной зависимости имеет наименьший наклон. Наибольшими показателями обладает арт. 86144, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 40% и скорости движения индентора 250 мм/мин (рисунок 2.11) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 84127, а наименьшее – арт. 86136. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 40% и скорости движения индентора 500 мм/мин (рисунок 2.12) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 86136 и арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 65% и скорости движения индентора 100 мм/мин (рисунок 2.13) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 86144, а наименьшее – арт. 86136. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 53631.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 65% и скорости движения индентора 250 мм/мин (рисунок 2.14) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 86294, а наимень-

шее – арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 65% и скорости движения индентора 500 мм/мин (рисунок 2.15) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 86144, а наименьшее – арт. 53631. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 90% и скорости движения индентора 100 мм/мин (рисунок 2.16) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 86136, а наименьшее – арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола при влажности 90% и скорости движения индентора 250 мм/мин (рисунок 2.17) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 86136, а наименьшее – арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт., а наименьшими – арт. 53631.

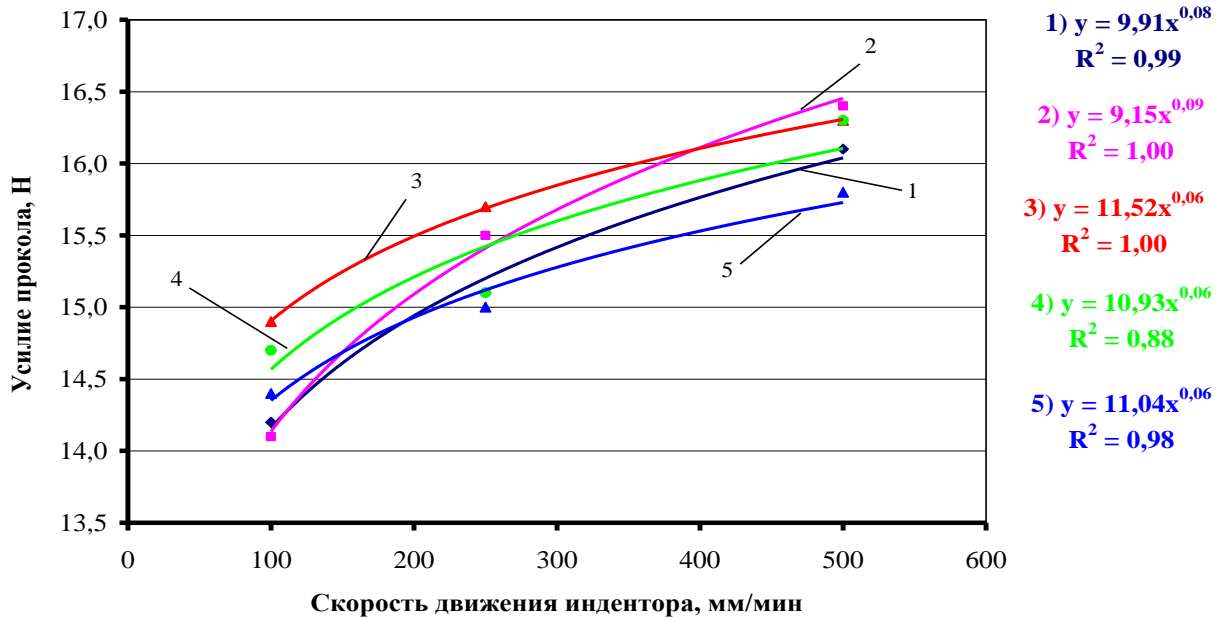
При анализе зависимости усилия прокола при влажности 90% и скорости движения индентора 500 мм/мин (рисунок 2.18) выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от количества слоев наблюдается у арт. 84127, а наименьшее – арт. 86294. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 84127.

2.6. Исследование влияния скорости движения индентора на усилие прокола баллистических тканей

На усилие прокола влияет скорость движения индентора, так как при возникновении ситуации с применением холодного оружия скорость нанесения повреждений может быть различной.

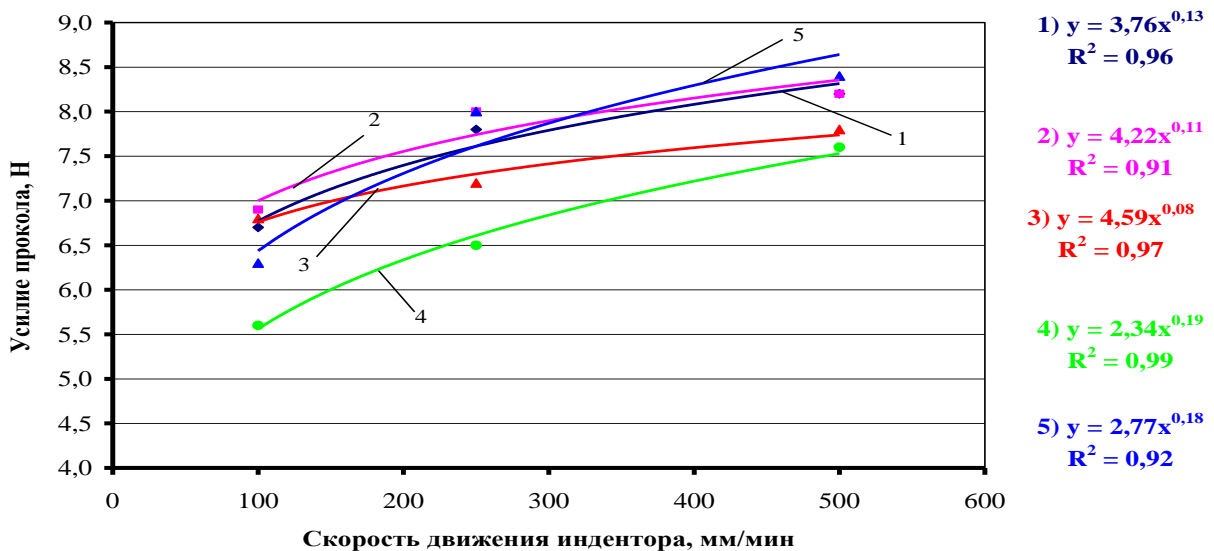
На основе результатов испытаний (таблица 2.5) получены зависимости усилия прокола баллистических тканей от скорости движения индентора.

На рисунках 2.19 – 2.33 приведены зависимости усилия прокола от количества слоев параарамидной ткани.



1) ♦ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.19 – Зависимость усилия прокола ткани в 1 слой при влажности ткани 40% от скорости движения индентора



1) ♦ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.20 – Зависимость усилия прокола ткани в 1 слой при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

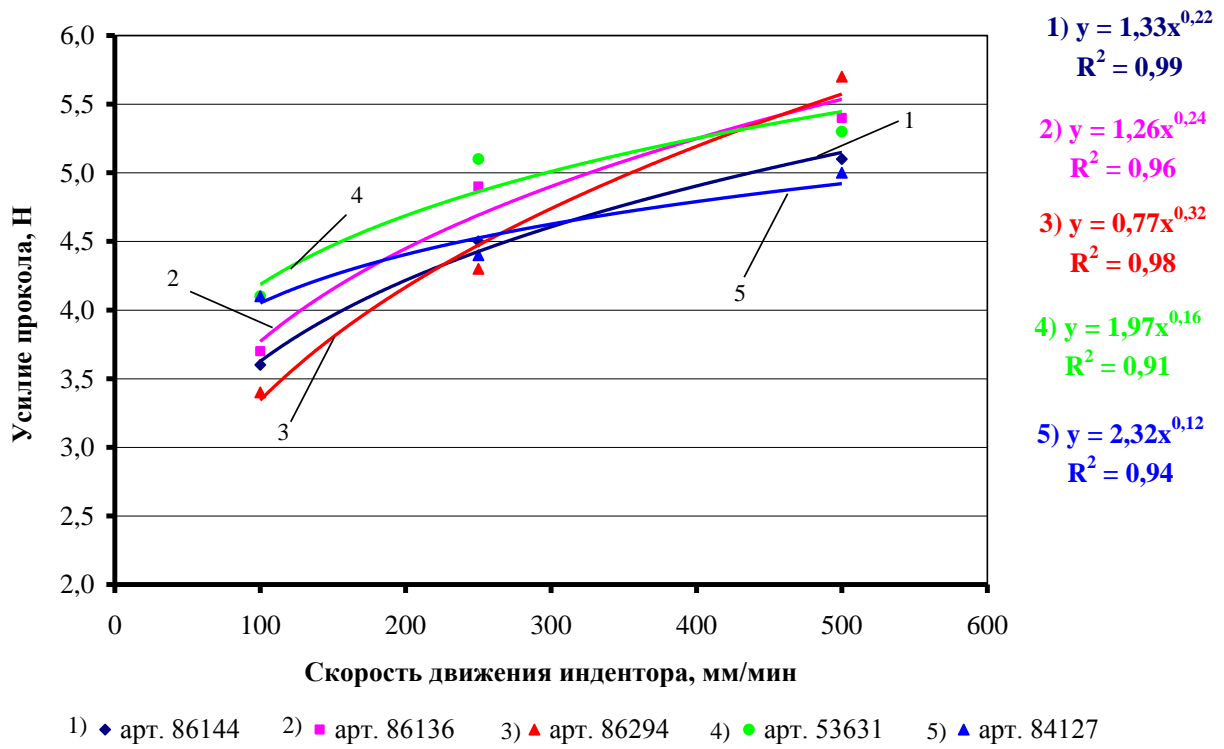


Рисунок 2.21 – Зависимость усилия прокола ткани в 1 слой при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

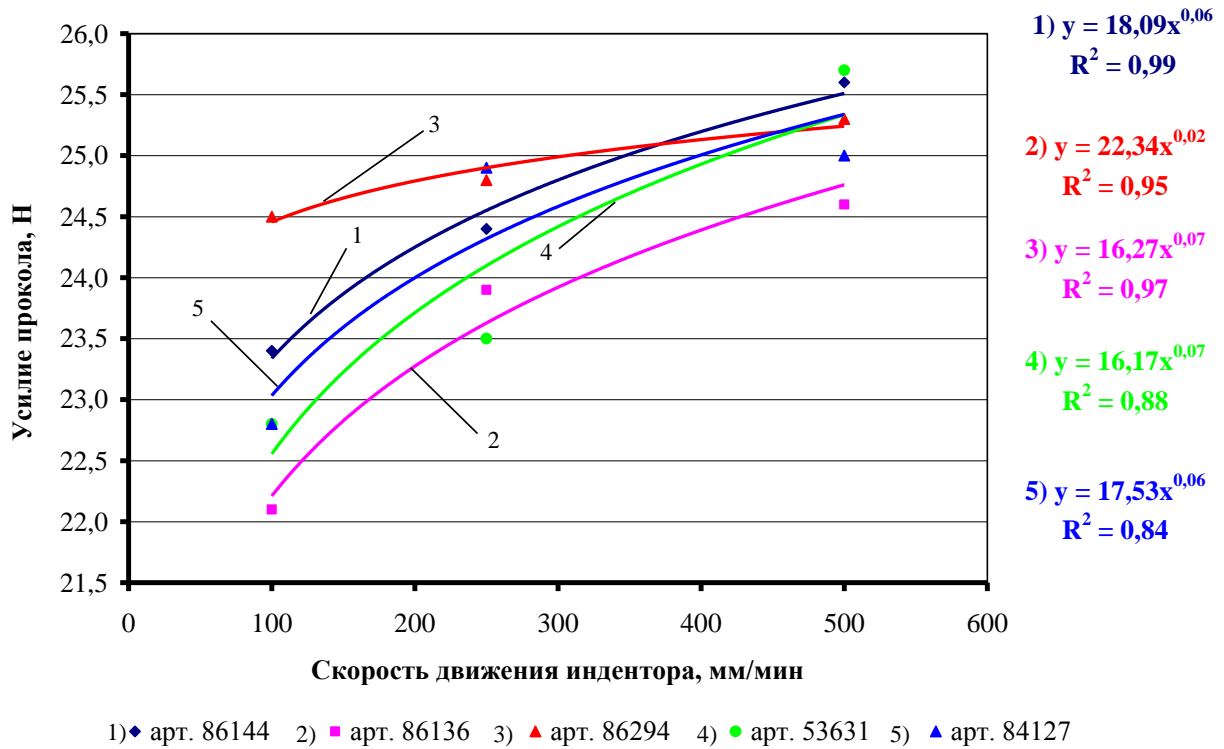


Рисунок 2.22 – Зависимость усилия прокола ткани в 2 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

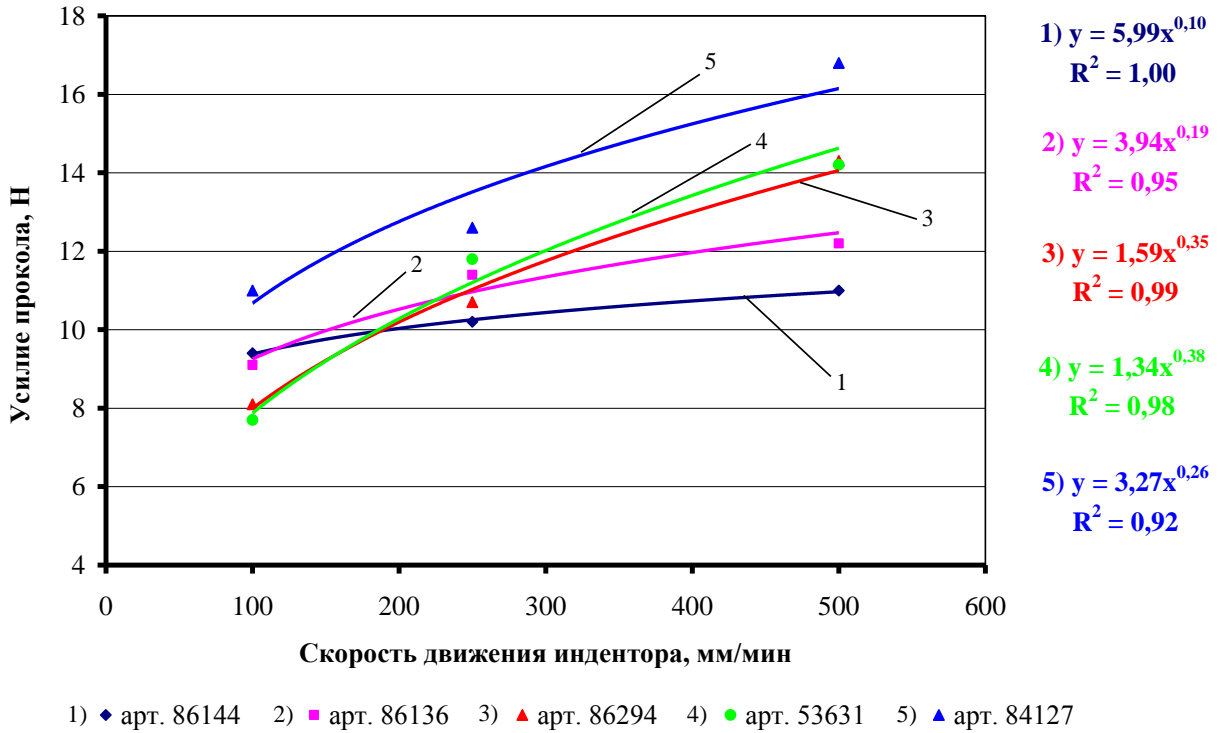


Рисунок 2.23 – Зависимость усилия прокола ткани в 2 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

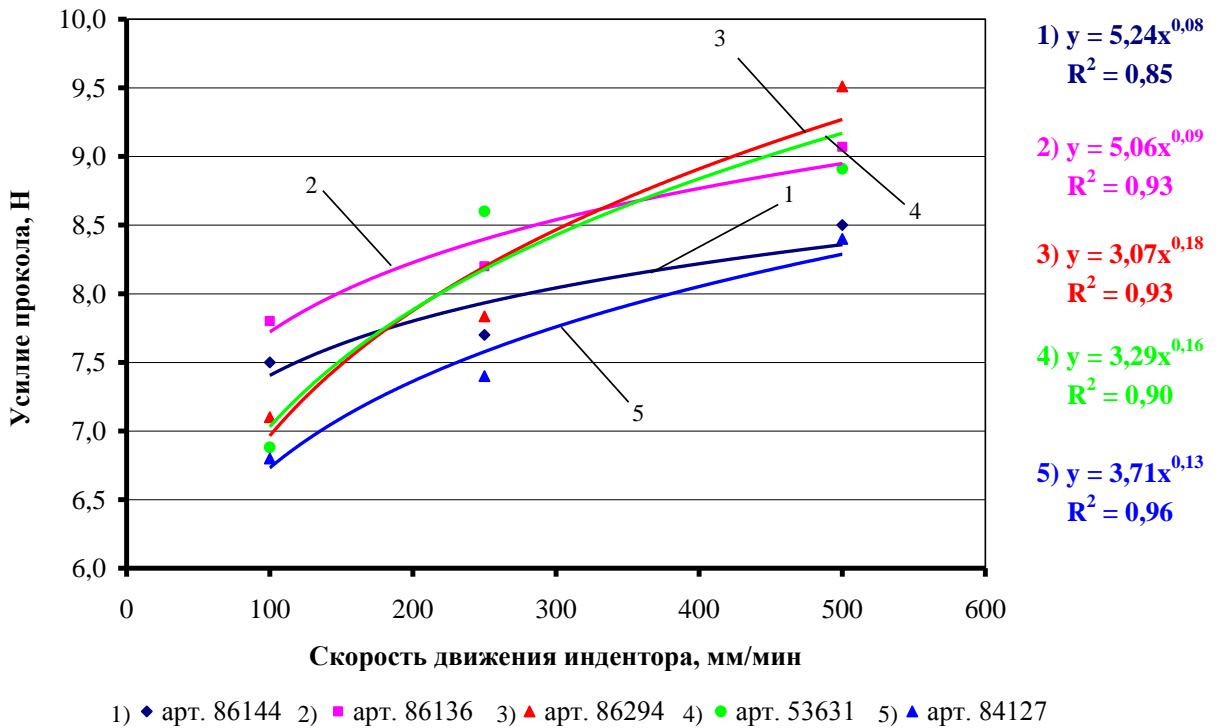


Рисунок 2.24 – Зависимость усилия прокола ткани в 2 слоя при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

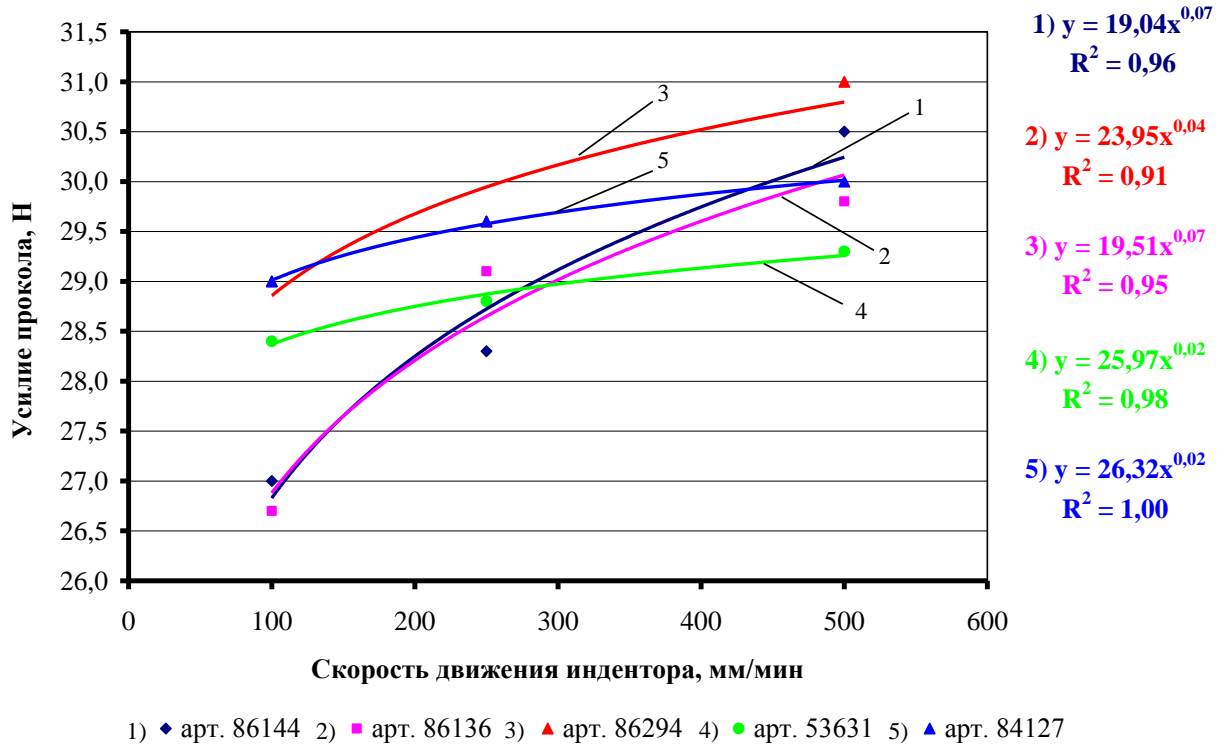


Рисунок 2.25 – Зависимость усилия прокола ткани в 4 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

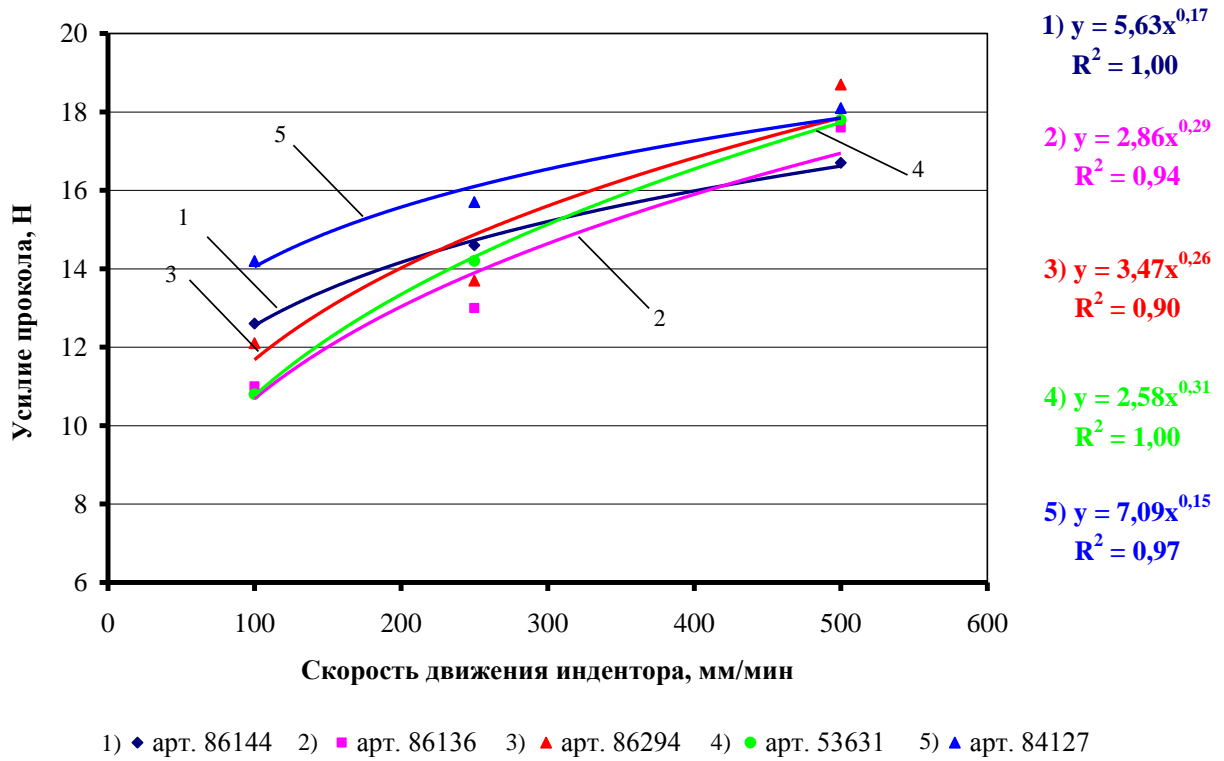


Рисунок 2.26 – Зависимость усилия прокола ткани в 4 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

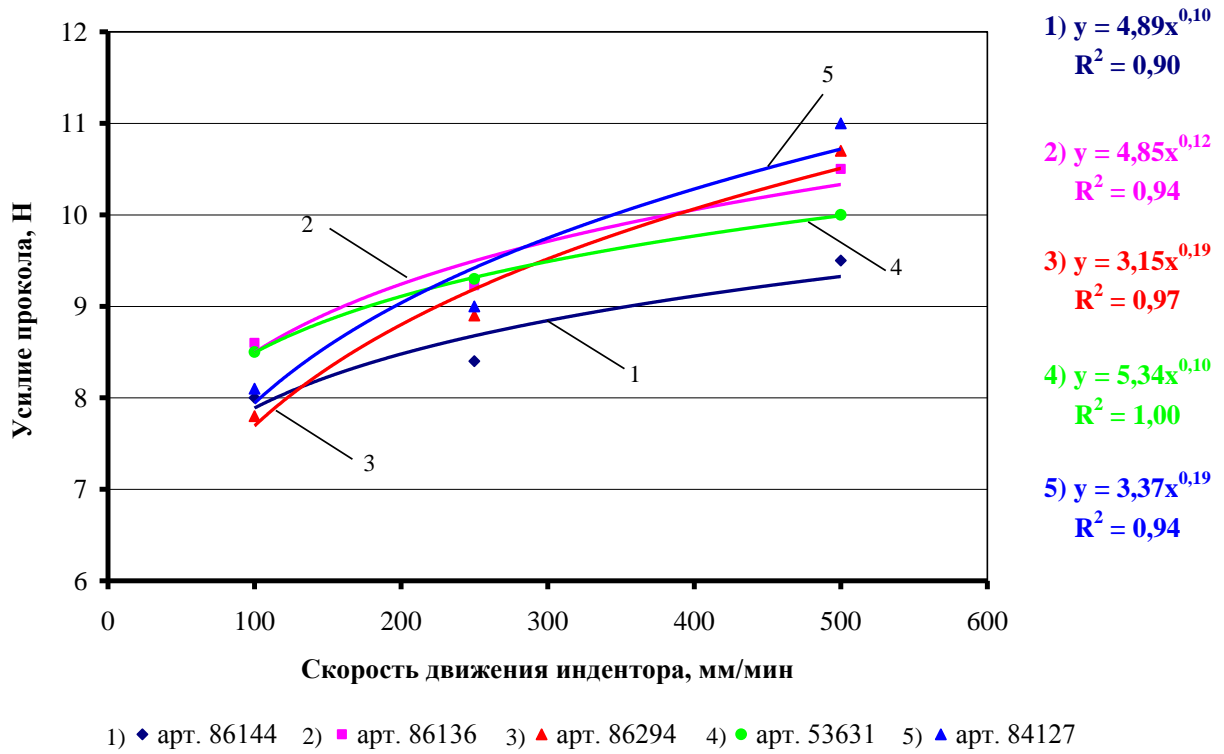


Рисунок 2.27 – Зависимость усилия прокола ткани в 4 слоя при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

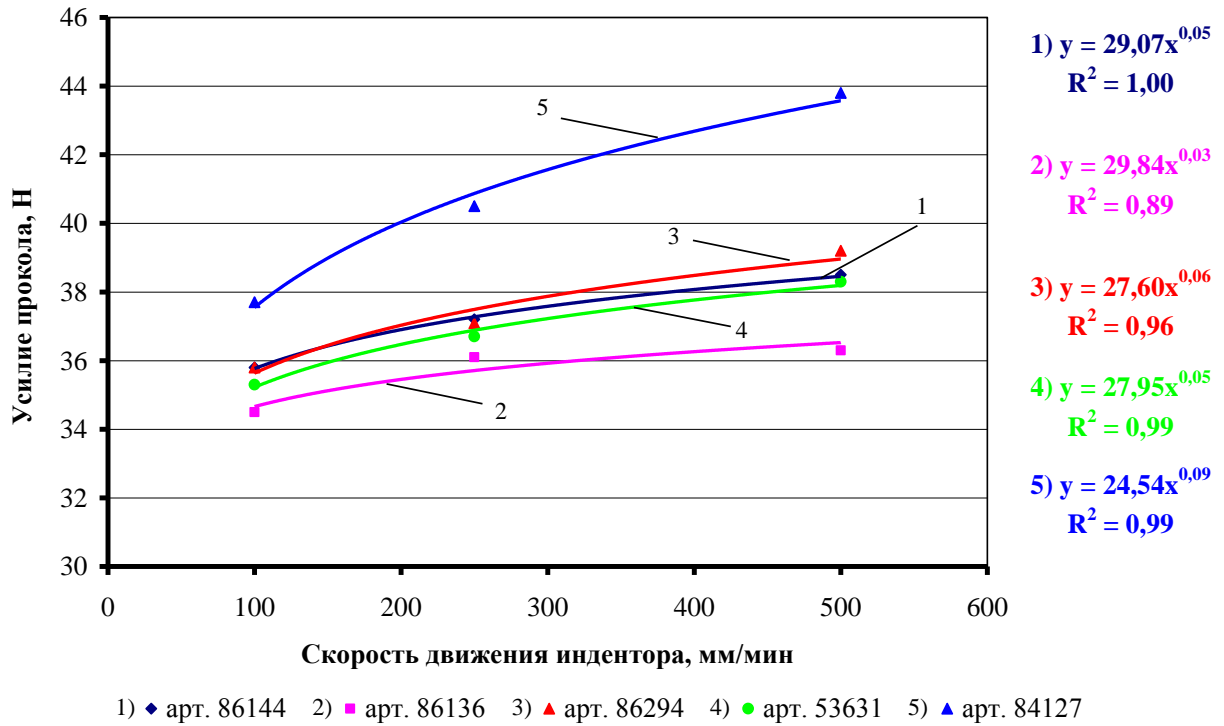


Рисунок 2.28 – Зависимость усилия прокола ткани в 6 слоев при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

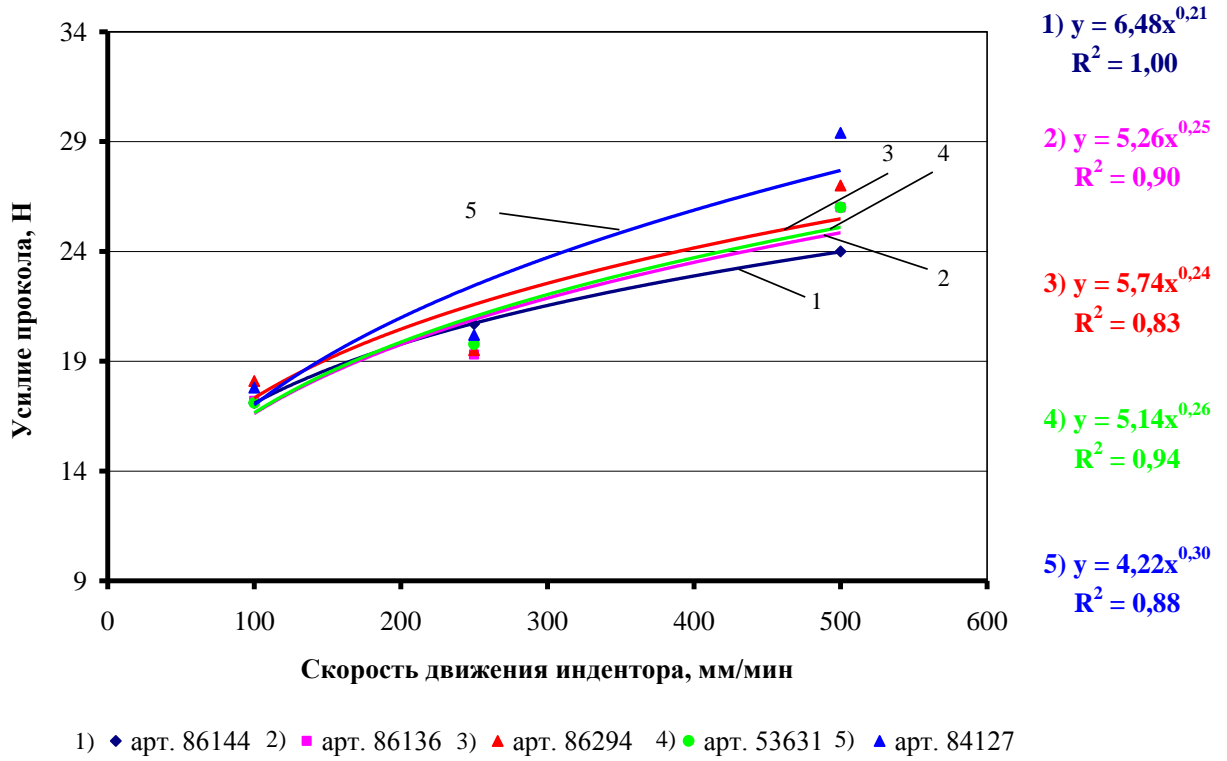


Рисунок 2.29 – Зависимость усилия прокола ткани в 6 слоев при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

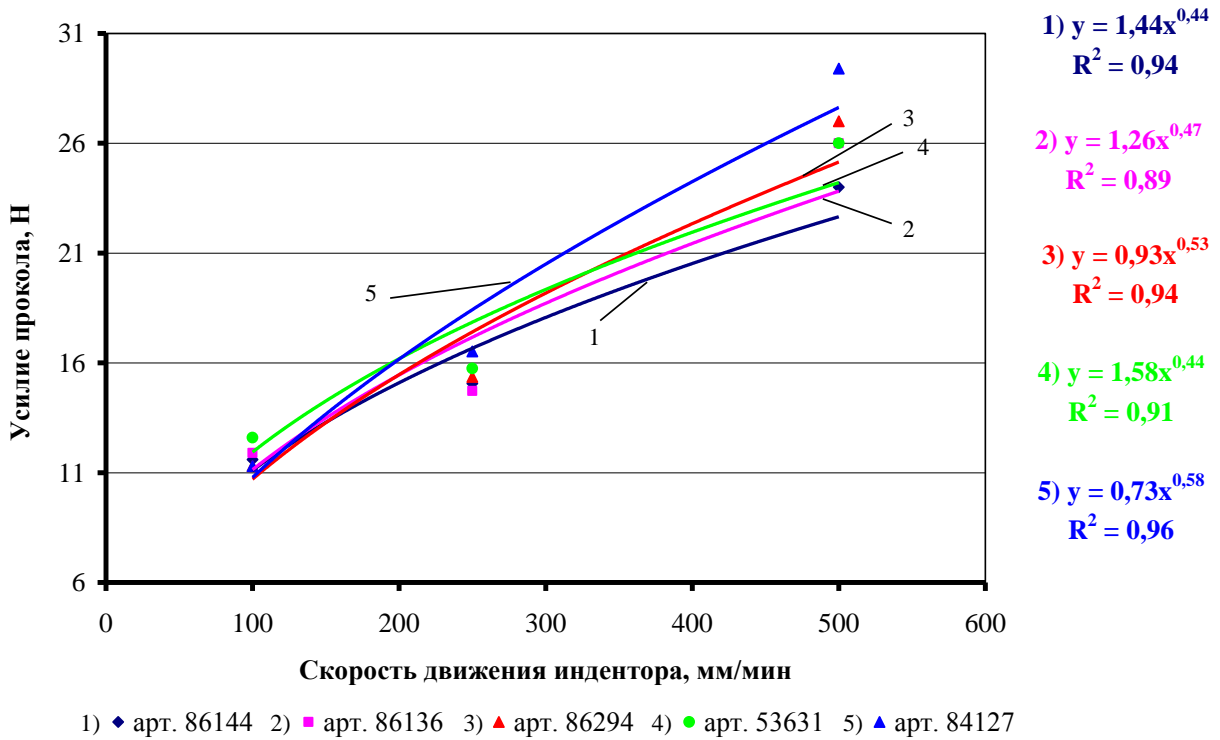


Рисунок 2.30 – Зависимость усилия прокола ткани в 6 слоев при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

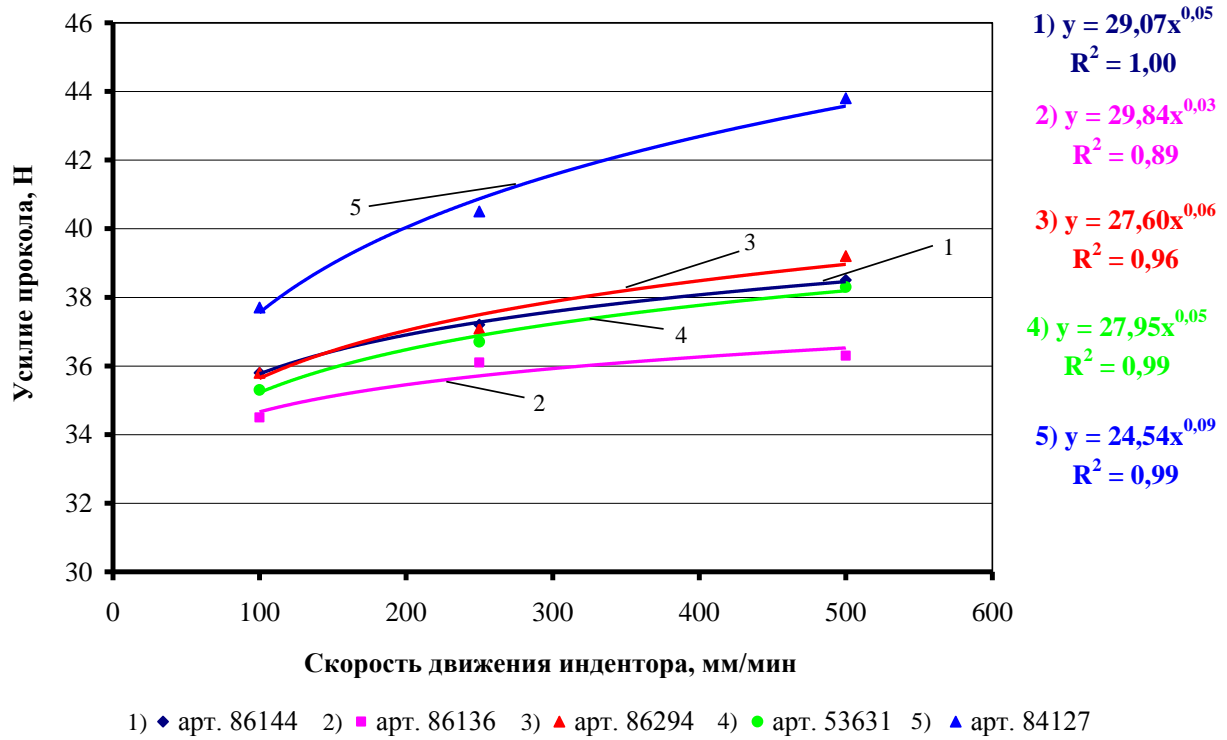


Рисунок 2.31 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

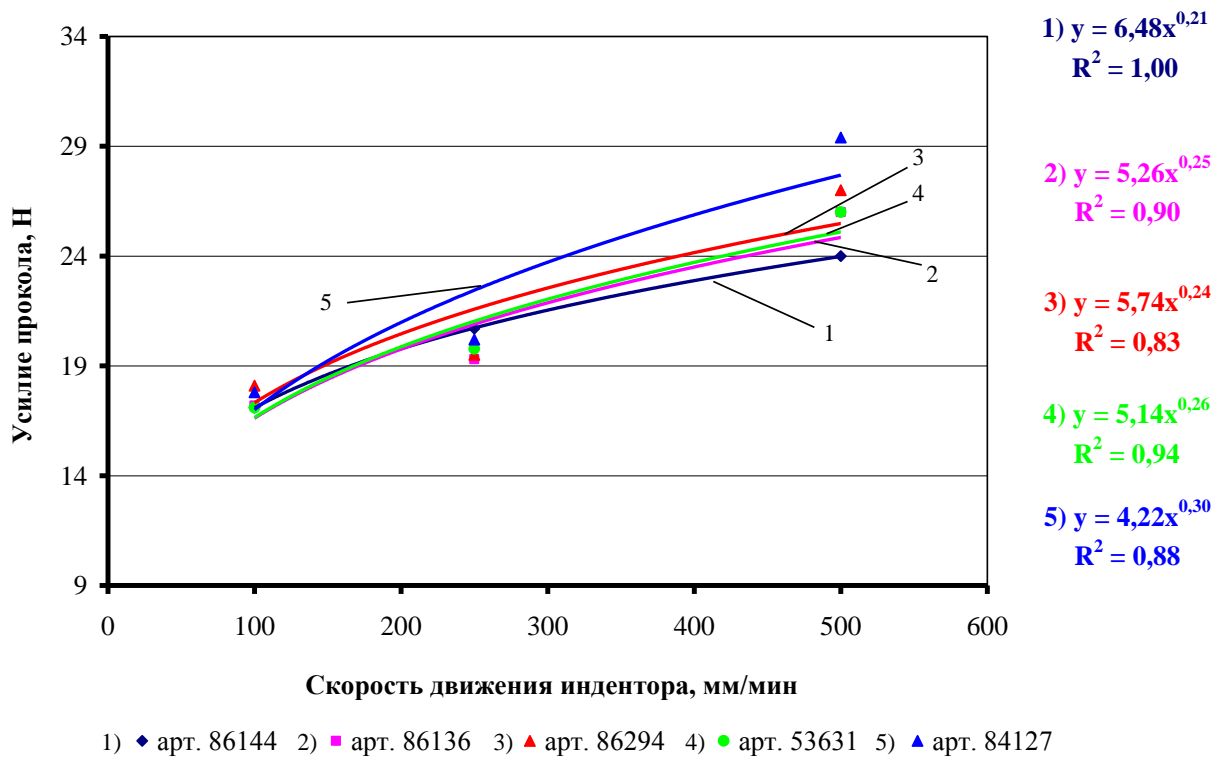


Рисунок 2.32 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

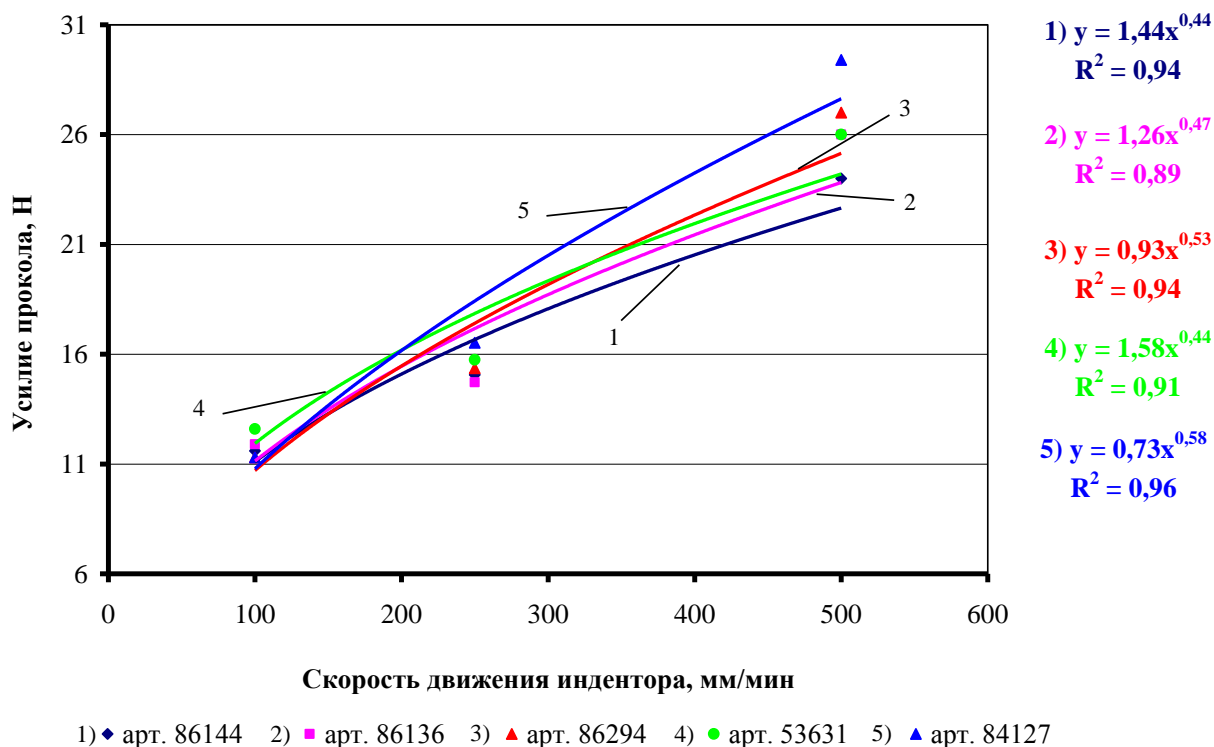


Рисунок 2.33 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

Данная зависимость определяется степенной функцией:

$$y = a \cdot x^b, \quad (2.2)$$

где y – усилие прокола, Н ;

x – скорость движения индентора, мм/мин;

a, b – расчетные коэффициенты.

Можно отметить, что при общем условии увеличения прочности при увеличении количества слоев и изменения влажности при увеличении скорости движения индентора усилие прокола увеличивается. При скорости 100мм/мин практически все образцы имеют не большую разницу в усилиях прокола. Наибольшие различия наблюдаются при скорости 500 мм/мин.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 2 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86294, так кривая, соответствующая данной зависимости имеет наибольший наклон, а

наименьшее – арт. 86144, кривая, соответствующая данной зависимости имеет наименьший наклон. Наибольшими показателями обладает арт. 86144, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 4 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 53631. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 6 слоев при влажности ткани 40% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 84127, а наименьшее – арт. 86136. Наибольшими показателями обладает арт. 84127, а наименьшими – арт. 86294.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 2 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 53631, а наименьшее – арт. 84127. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 4 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 53631. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 6 слоев при влажности ткани 65% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86144, а наименьшее - у арт. 84127. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 2 слоя при влажности ткани 90% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение

усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 53631, а наименьшее – арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 4 слоя при влажности ткани 90% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости усилия прокола ткани в 6 слоев при влажности ткани 90% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение усилия прокола от скорости движения индентора наблюдается у арт. 84127, а наименьшее – арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

2.7. Исследование зависимости усилия прокола от влажности баллистических тканей

Установлено, что при высокой влажности параарамидные ткани теряют свою прочность при растяжении, поэтому исследование влияния ее различных значений на усилие прокола является актуальной задачей.

На рисунках 2.34 – 2.48 приведены зависимости усилия прокола от влажности ткани.

Зависимость усилия прокола ткани от влажности ткани определяется полиномом второго порядка:

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (2.3)$$

где y – усилие прокола, Н;
 x – влажность ткани, %;
 a, b, c – расчетные коэффициенты.

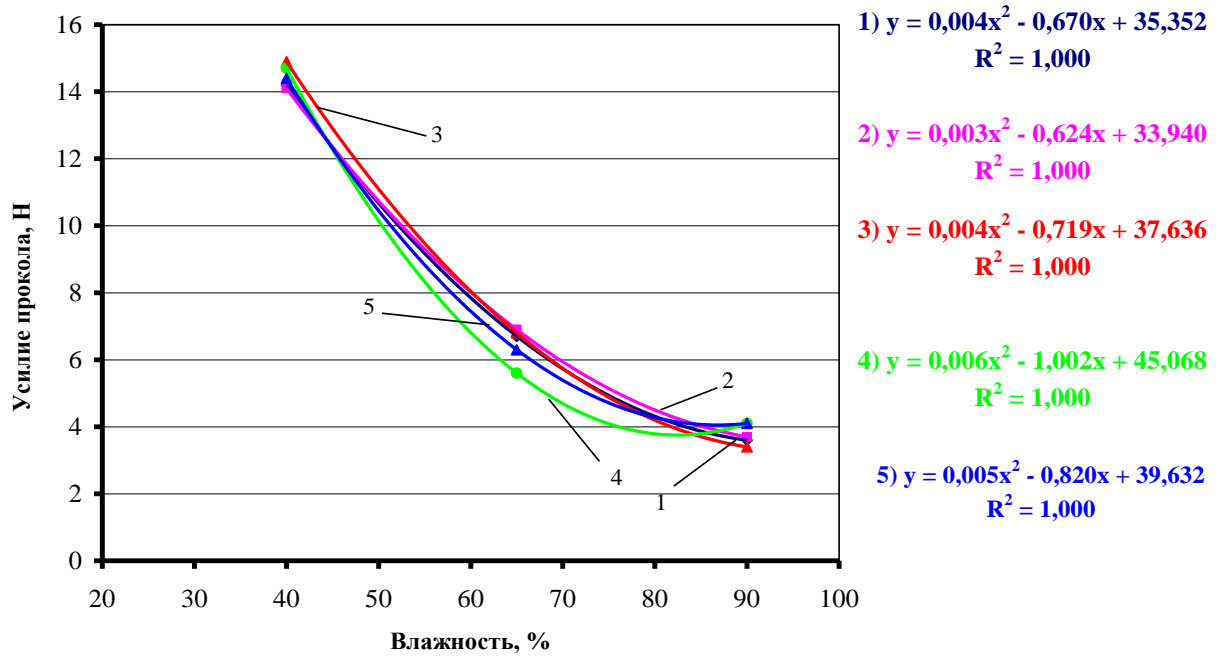


Рисунок 2.34 – Зависимость усилия прокола ткани в 1 слой при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани

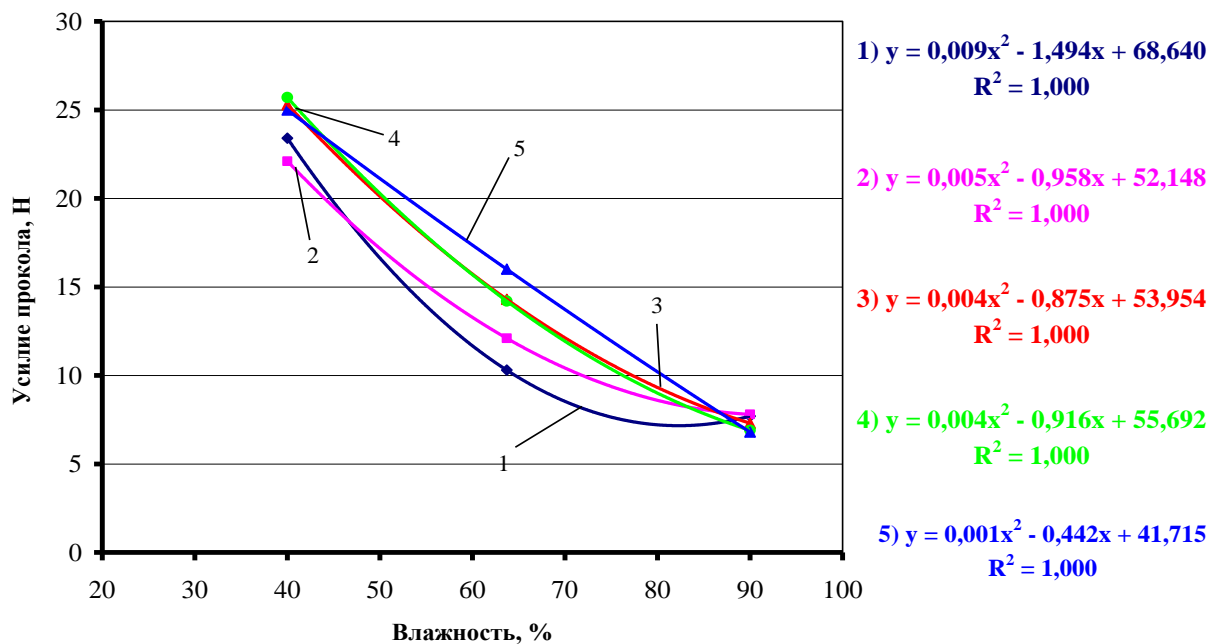


Рисунок 2.35 – Зависимость усилия прокола ткани в 2 слоя при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани

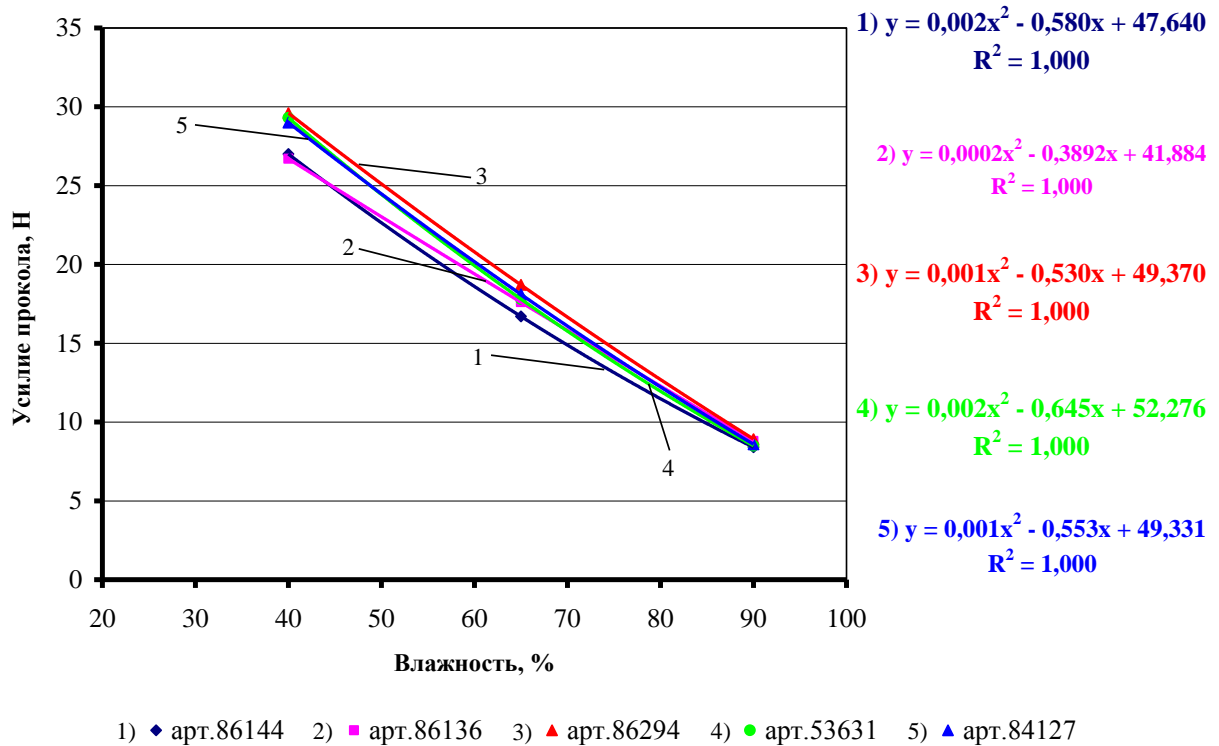


Рисунок 2.36 – Зависимость усилия прокола ткани в 4 слоя при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани

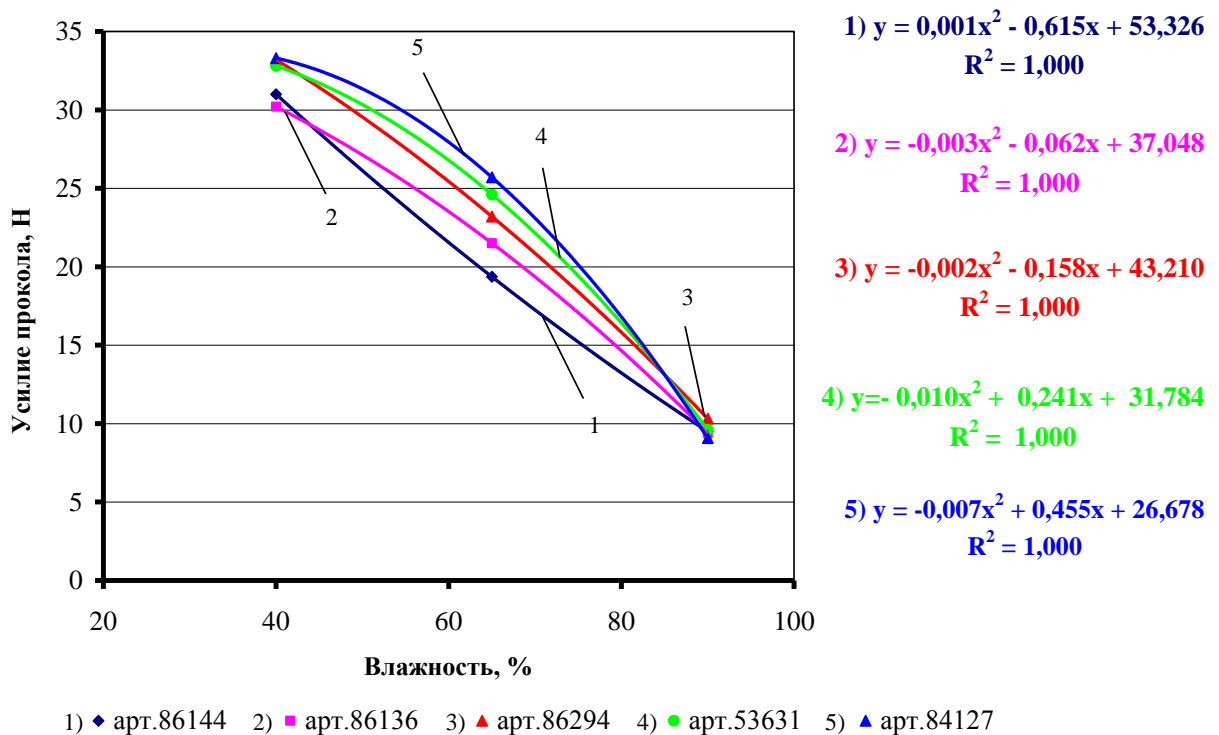
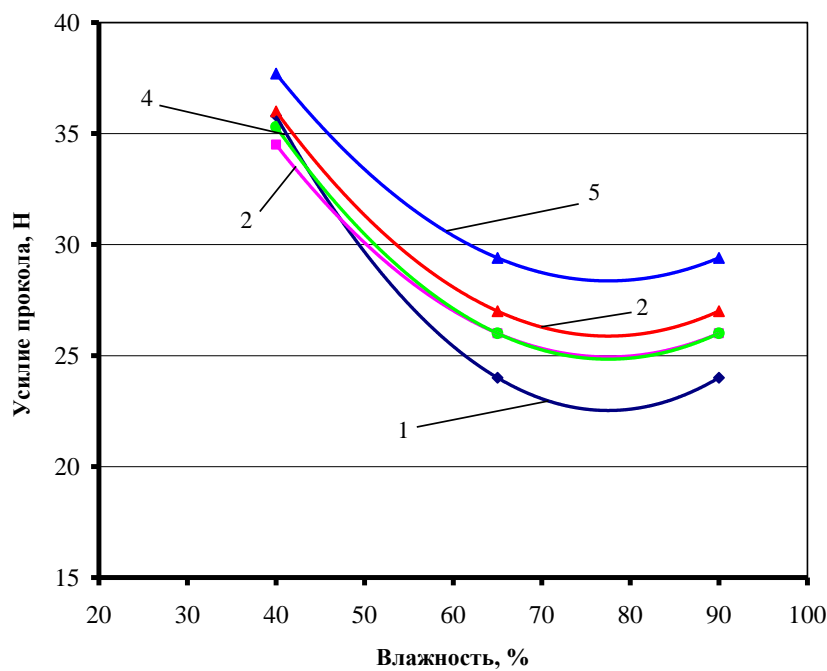
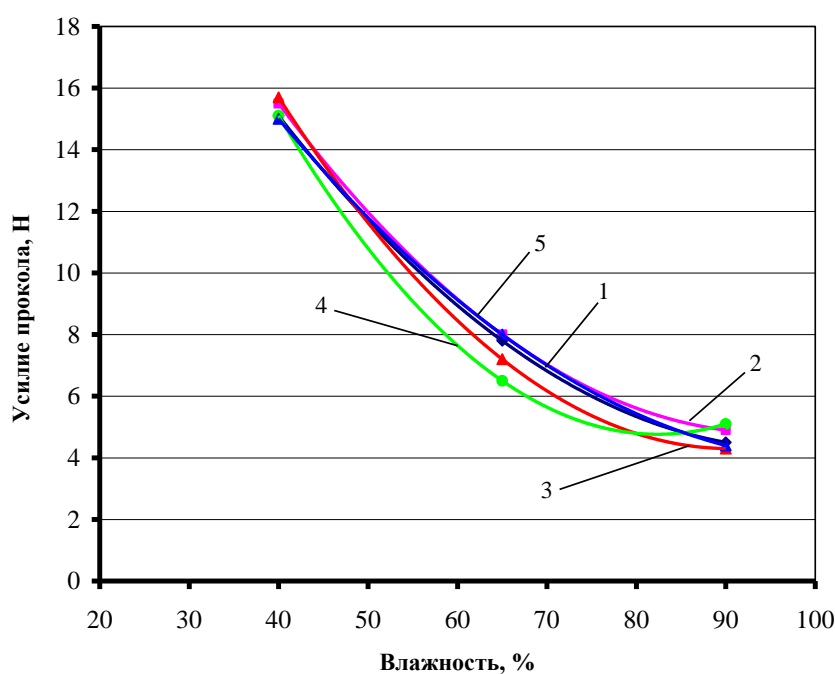


Рисунок 2.37 – Зависимость усилия прокола ткани в 6 слоев при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт.86144 2) ■ арт.86136 3) ▲ арт.86294 4) ● арт.53631 5) ▲ арт.84127

Рисунок 2.38 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт.86144 2) ■ арт.86136 3) ▲ арт.86294 4) ● арт.53631 5) ▲ арт.84127

Рисунок 2.39 – Зависимость усилия прокола ткани в 1 слой при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани

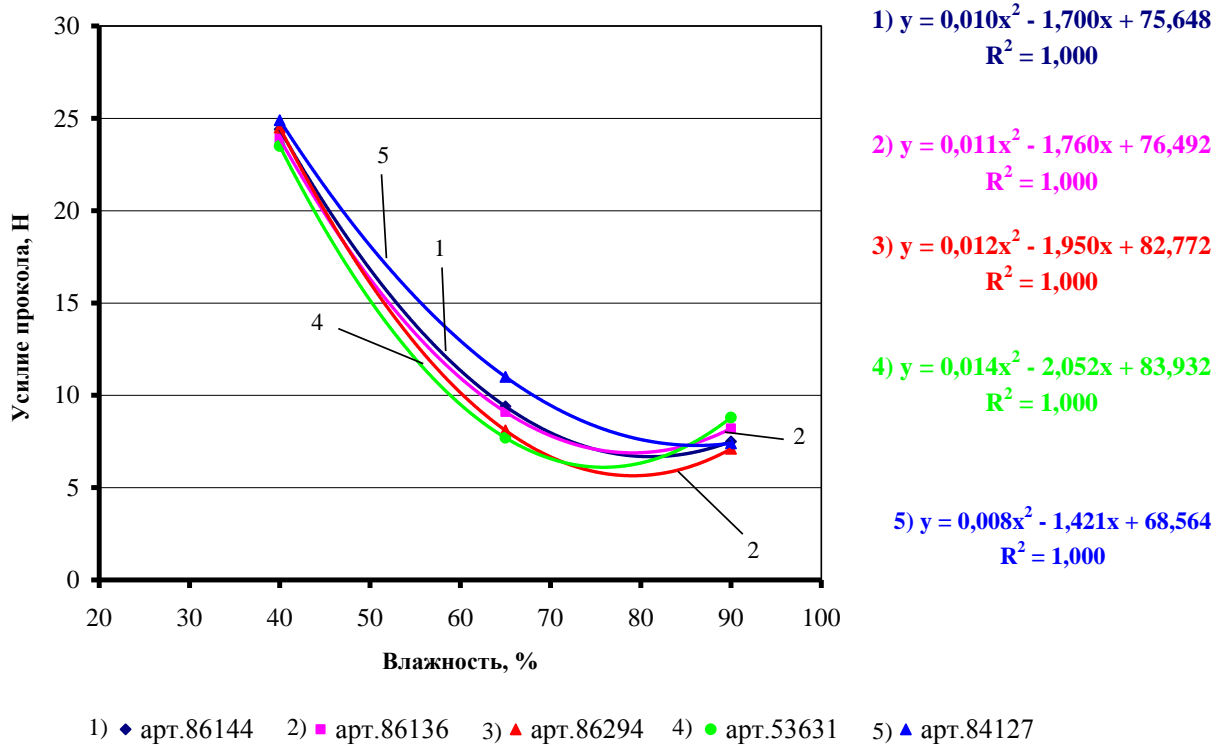


Рисунок 2.40 – Зависимость усилия прокола ткани в 2 слоя при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани

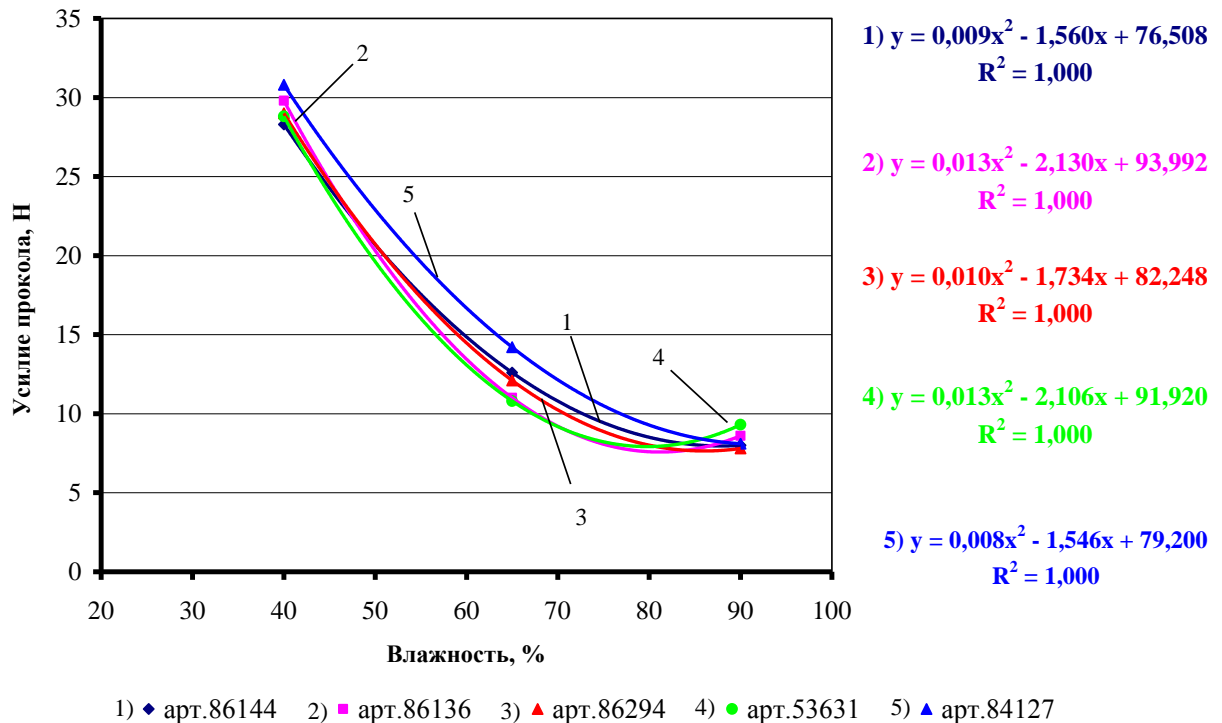


Рисунок 2.41 – Зависимость усилия прокола ткани в 4 слоя при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани

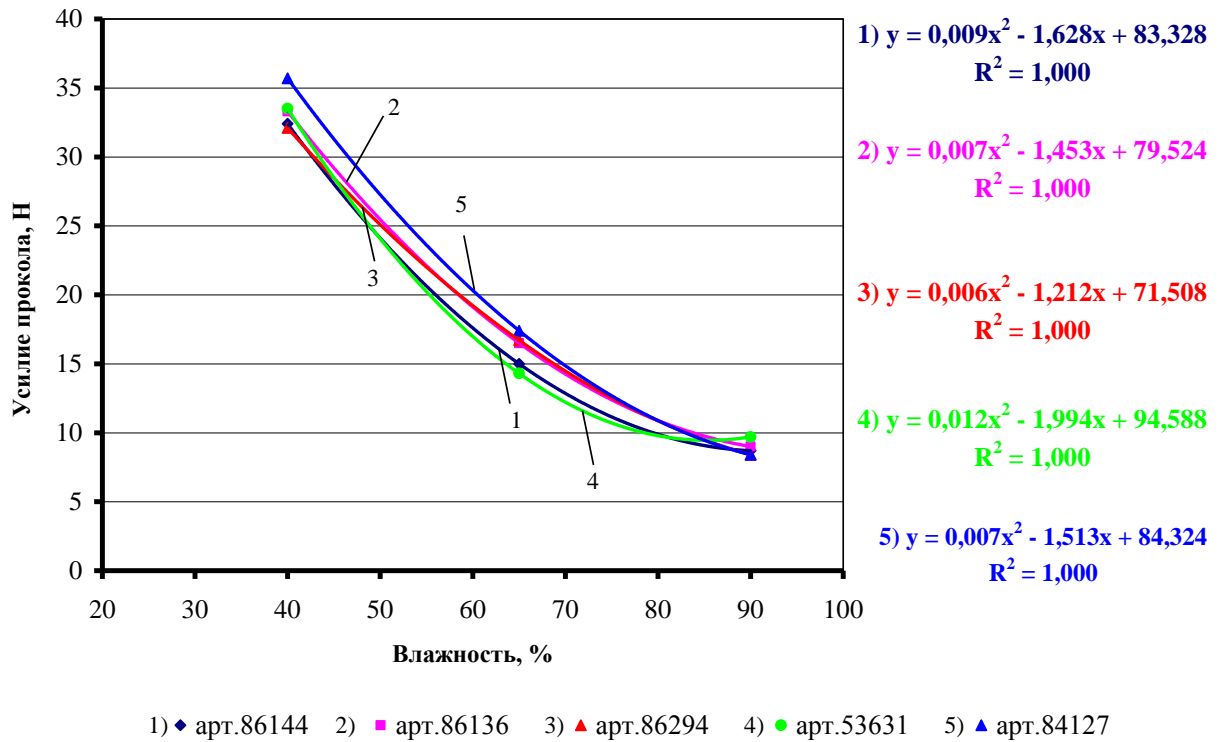


Рисунок 2.42 – Зависимость усилия прокола ткани в 6 слоев при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани

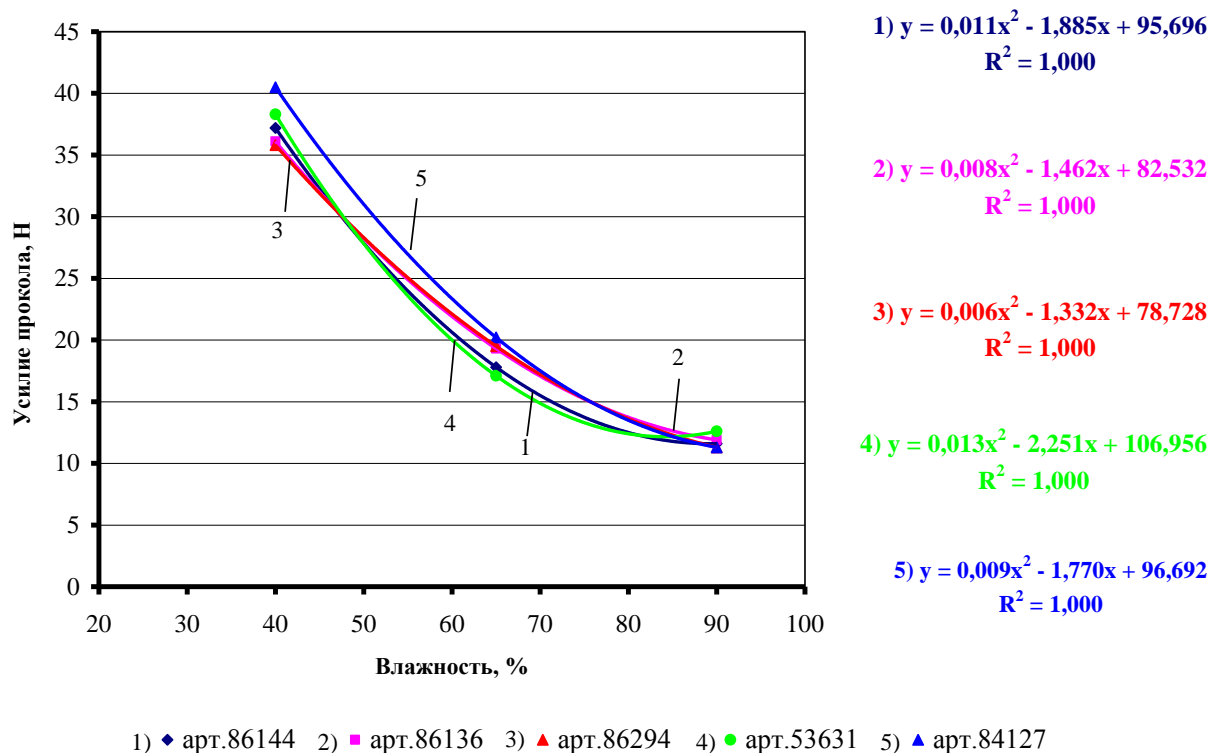
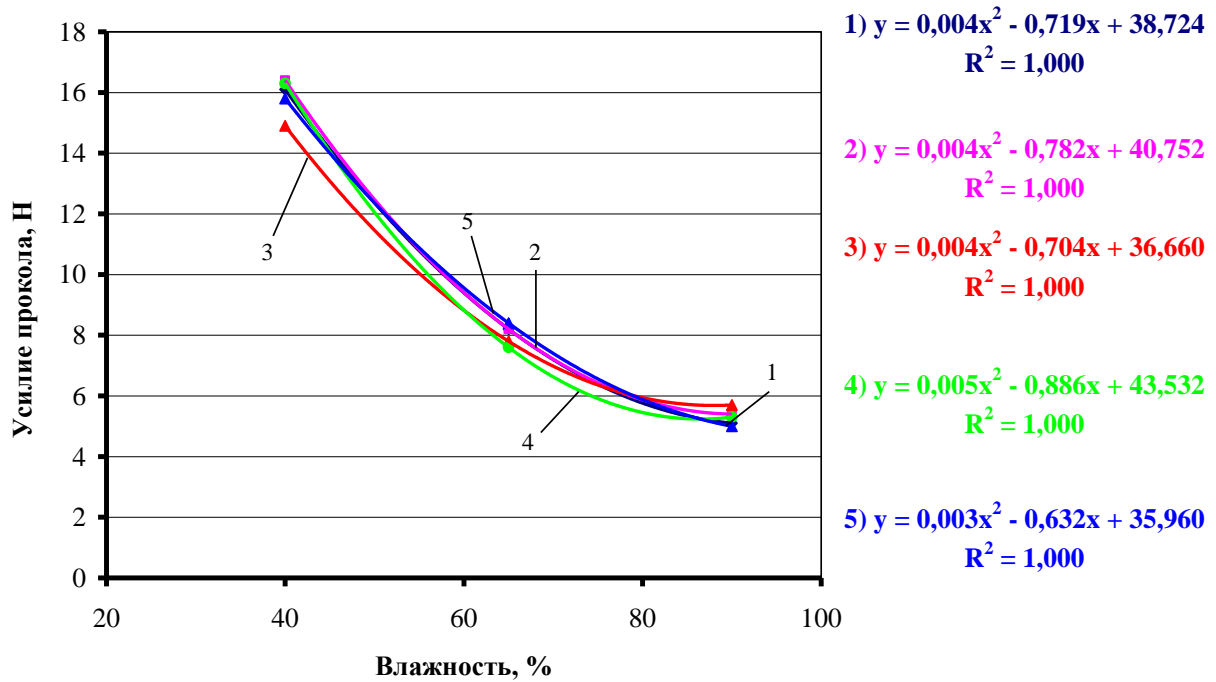
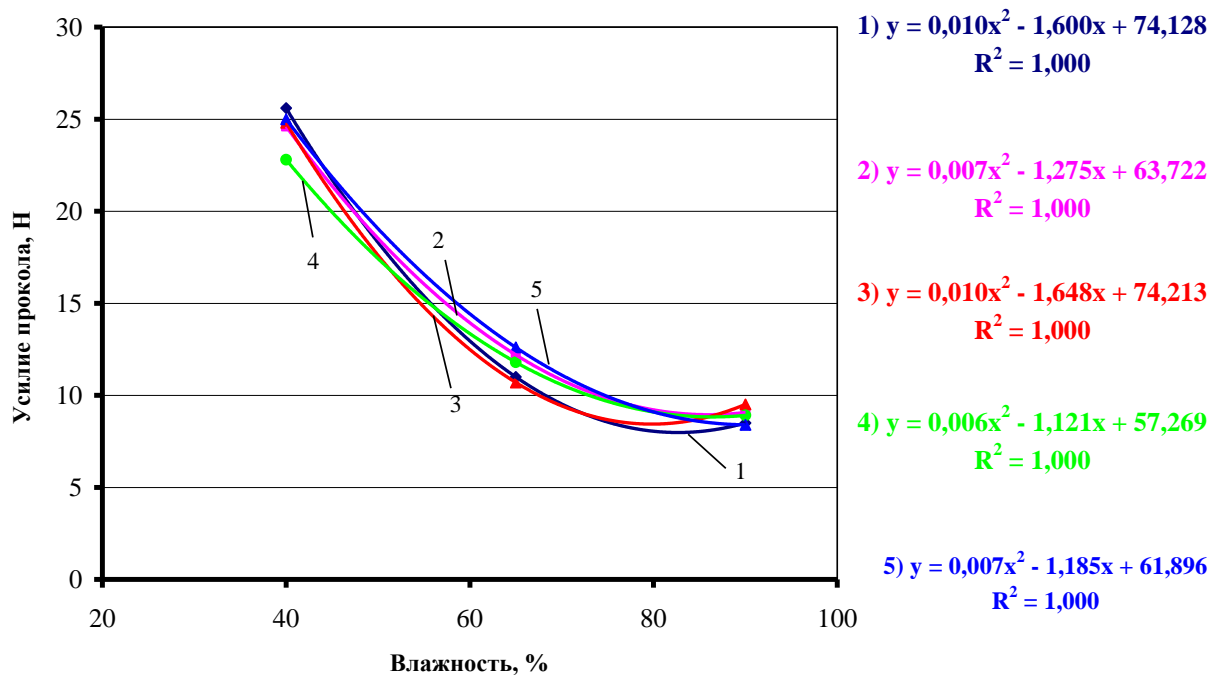


Рисунок 2.43 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт.86144 2) ■ арт.86136 3) ▲ арт.86294 4) ● арт.53631 5) ▲ арт.84127

Рисунок 2.44 – Зависимость усилия прокола ткани в 1 слой при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт.86144 2) ■ арт.86136 3) ▲ арт.86294 4) ● арт.53631 5) ▲ арт.84127

Рисунок 2.45 – Зависимость усилия прокола ткани в 2 слоя при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани

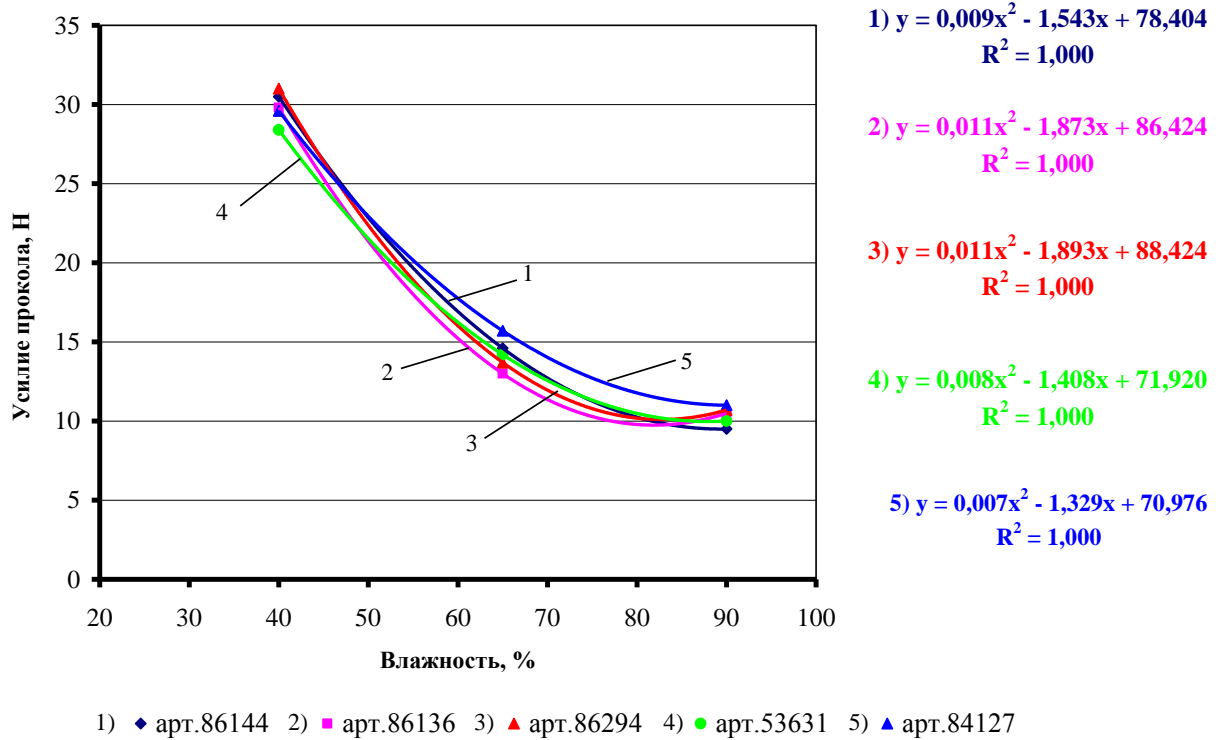


Рисунок 2.46 – Зависимость усилия прокола ткани в 4 слоя при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани

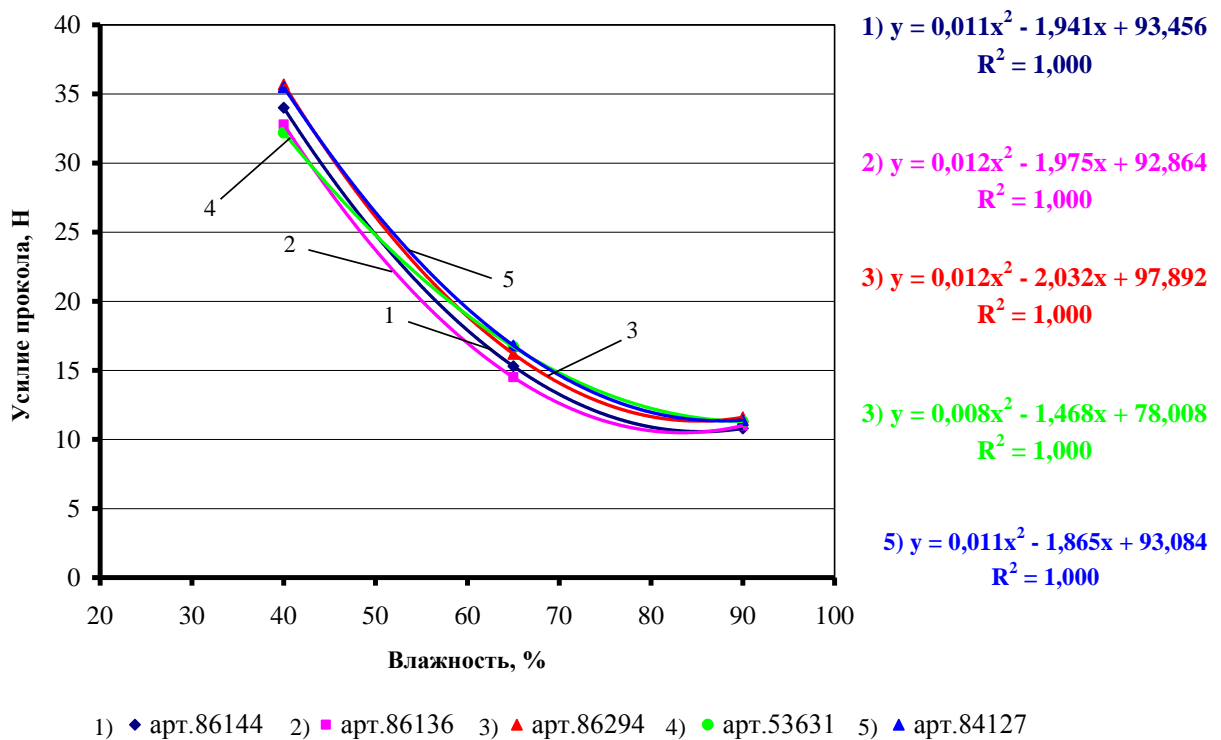
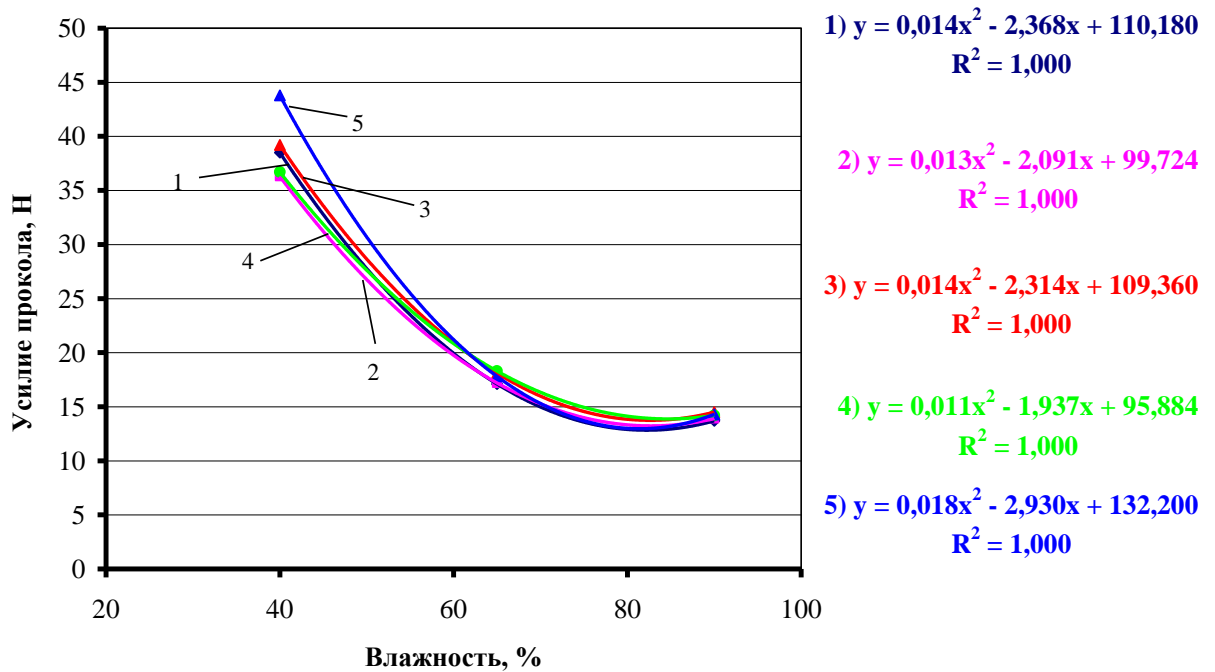


Рисунок 2.47 – Зависимость усилия прокола ткани в 6 слоев при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт.86144 2) ■ арт.86136 3) ▲ арт.86294 4) ● арт.53631 5) ▲ арт.84127

Рисунок 2.48 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани

При анализе зависимости усилия прокола тканей от влажности ткани можно сделать вывод, что изменение данного показателя у всех полотен происходит с одинаковой интенсивностью и кривые накладываются одна на другую.

В зависимости от увеличения влажности ткани величина усилия прокола тканей снижается, так как нити становятся более гладкими, что позволяет индентору в виде пики с меньшим усилием прокалывать ткань. При проколе индентор практически не повреждает нити, так как совокупность наличия у индентора в виде пики 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.

2.8. Исследование зависимости нагрузки при прорезании однозаточенным ножом от количества слоев баллистических тканей

В качестве индентора был выбран однозаточенный нож по аналогии с ГОСТ Р 50744-95, где в виде индентора используется штык нож 6X5 заводской заточки [15, 106].

В таблице 2.6 приведены результаты испытаний исследуемых тканей.

Исследования проводилось для различных видов тканей, также осуществлялось варьирование количества слоев бронепакета, скорости движения индентора и влажности ткани.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы.

С увеличением количества слоев нагрузка при прорезании увеличивается, а с увеличением влажности – уменьшается. С увеличением скорости движения индентора нагрузка при прорезании увеличивается.

Геометрия насадок оказывает существенное влияние на прочность и стрелу прогиба образцов.

Все ткани имеют низкую прочность при прорезании, так как ножи имеют плоскую форму и легко проникают сквозь образец.

Стрела прогиба имеет наибольшее значение только в начальный период разрушения.

При проведении испытаний выявлено, что при прорезании ножом сначала происходит растяжение и раздвигаемость нитей, образующих ткань, а затем их разрушение, что приводит к увеличению площади поверхности образца, в то время как при прокалывании тканей пикой наблюдается только раздвигаемость нитей.

Наилучшими характеристиками обладает ткань арт. 86294, а наихудшими – арт. 86136.

Можно также отметить, что в мокром состоянии у всех тканей снижается прочность.

На рисунках 2.49 – 2.57 приведены зависимости нагрузки при прорезании от количества слоев параарамидной ткани.

Таблица 2.6 – Результаты определения нагрузки при прорезании тканей для бронежилетов

Количество слоев	арт.86144 – саржевое переплетение		арт.86136 – атласное переплетение		арт.86294 – полотняное переплетение		арт.53631– вафельное переплетение		арт.84127 – полотняное переплетение	
	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Влажность ткани 40%, скорость движения индентора 100 мм/мин										
1	13,38	1,64	15,18	1,61	11,88	1,81	13,71	1,59	9,12	1,75
2	22,30	1,54	24,20	1,53	19,80	1,56	23,03	1,57	15,20	1,65
4	24,50	1,49	27,80	1,51	23,20	1,54	26,70	1,57	21,70	1,61
6	28,70	1,21	29,40	1,52	28,80	1,54	30,20	1,52	23,10	1,57
8	37,00	1,24	36,58	1,48	37,10	1,13	38,50	1,17	31,40	1,45
Влажность ткани 40%, скорость движения индентора 250 мм/мин										
1	14,70	1,97	16,41	1,79	16,92	1,92	15,14	1,87	14,64	2,27
2	25,40	1,85	26,70	1,74	26,52	1,86	25,44	1,83	22,55	1,80
4	28,40	1,81	29,50	1,73	29,30	1,76	28,30	1,77	26,70	1,72
6	30,80	1,74	33,80	1,72	32,50	1,74	31,70	1,72	30,50	1,67
8	38,60	1,65	38,10	1,61	40,80	1,66	39,70	1,67	37,40	1,63
Влажность ткани 40%, скорость движения индентора 500 мм/мин										
1	15,24	2,43	16,68	2,37	17,44	2,78	15,56	2,42	15,96	2,56
2	27,06	2,37	27,80	2,23	29,06	2,57	25,94	2,35	26,60	2,41
4	29,20	2,27	29,70	2,17	32,30	2,38	30,30	2,22	29,00	2,38
6	30,80	2,24	30,00	2,13	34,80	2,26	31,80	2,12	31,10	2,33
8	39,10	2,11	38,30	2,09	43,10	2,22	40,10	2,06	39,40	2,31

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Влажность ткани 65%, скорость движения индентора 100 мм/мин										
1	9,18	1,59	9,50	1,61	7,84	1,64	8,46	1,85	5,58	2,15
2	15,77	1,58	16,37	1,59	13,25	1,57	14,10	1,63	9,30	1,97
4	18,40	1,57	18,30	1,54	18,76	1,54	18,00	1,61	16,91	1,78
6	20,93	1,56	21,50	1,52	21,80	1,51	19,66	1,55	18,94	1,72
8	29,23	1,52	29,77	1,48	30,10	1,41	27,60	1,41	27,07	1,61
Влажность ткани 65%, скорость движения индентора 250 мм/мин										
1	10,08	1,84	10,392	1,91	10,02	1,72	9,06	1,94	8,28	1,75
2	16,80	1,69	17,32	1,62	16,70	1,64	15,10	1,79	13,30	1,65
4	19,10	1,67	19,50	1,60	19,80	1,57	19,20	1,75	18,10	1,61
6	22,43	1,64	21,40	1,58	22,37	1,54	20,39	1,71	20,39	1,58
8	30,73	1,52	30,40	1,53	30,67	1,42	29,70	1,69	28,80	1,54
Влажность ткани 65%, скорость движения индентора 500 мм/мин										
1	12,86	2,12	11,22	2,18	11,62	2,03	11,00	1,73	9,18	2,18
2	18,10	2,03	18,70	2,05	17,70	1,90	18,20	1,65	15,30	1,96
4	21,03	1,87	19,80	1,91	20,82	1,85	21,55	1,56	18,20	1,87
6	23,97	1,75	22,89	1,88	23,40	1,76	23,51	1,47	23,45	1,72
8	32,27	1,72	31,19	1,67	31,70	1,71	31,81	1,32	31,75	1,68
Влажность ткани 90%, скорость движения индентора 100 мм/мин										
1	6,12	2,13	6,96	2,10	6,12	2,78	5,05	1,65	4,96	2,18
2	10,20	2,10	11,60	2,05	10,2	2,64	8,10	1,56	8,27	1,98
4	14,73	1,97	16,00	2,01	15,1	2,53	15,61	1,52	14,53	1,91
6	19,27	1,89	17,81	1,91	18,1	2,48	18,44	1,45	17,41	1,88
8	26,50	1,87	26,11	1,82	27,1	2,44	25,70	1,42	25,71	1,83

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Влажность ткани 90%, скорость движения индентора 250 мм/мин										
1	6,61	2,14	7,26	1,96	7,20	1,51	5,76	1,74	5,56	1,99
2	10,70	1,86	12,10	1,85	12,00	1,43	9,60	1,65	11,20	1,89
4	15,40	1,85	16,20	1,82	15,20	1,36	15,70	1,56	15,20	1,82
6	20,92	1,78	19,32	1,76	20,00	1,31	17,94	1,52	19,78	1,73
8	27,20	1,68	27,62	1,74	27,41	1,27	26,24	1,45	27,50	1,68
Влажность ткани 90%, скорость движения индентора 500 мм/мин										
1	6,90	2,41	7,32	2,31	7,68	2,04	6,18	1,80	5,88	2,57
2	11,50	2,36	12,20	2,25	12,80	1,98	10,30	1,71	9,80	2,14
4	16,12	2,26	16,28	2,18	15,40	1,86	15,87	1,62	15,27	2,04
6	18,96	2,21	21,18	2,11	21,30	1,82	17,85	1,56	19,73	1,96
8	27,26	2,14	29,48	2,06	28,24	1,74	26,60	1,51	26,03	1,91

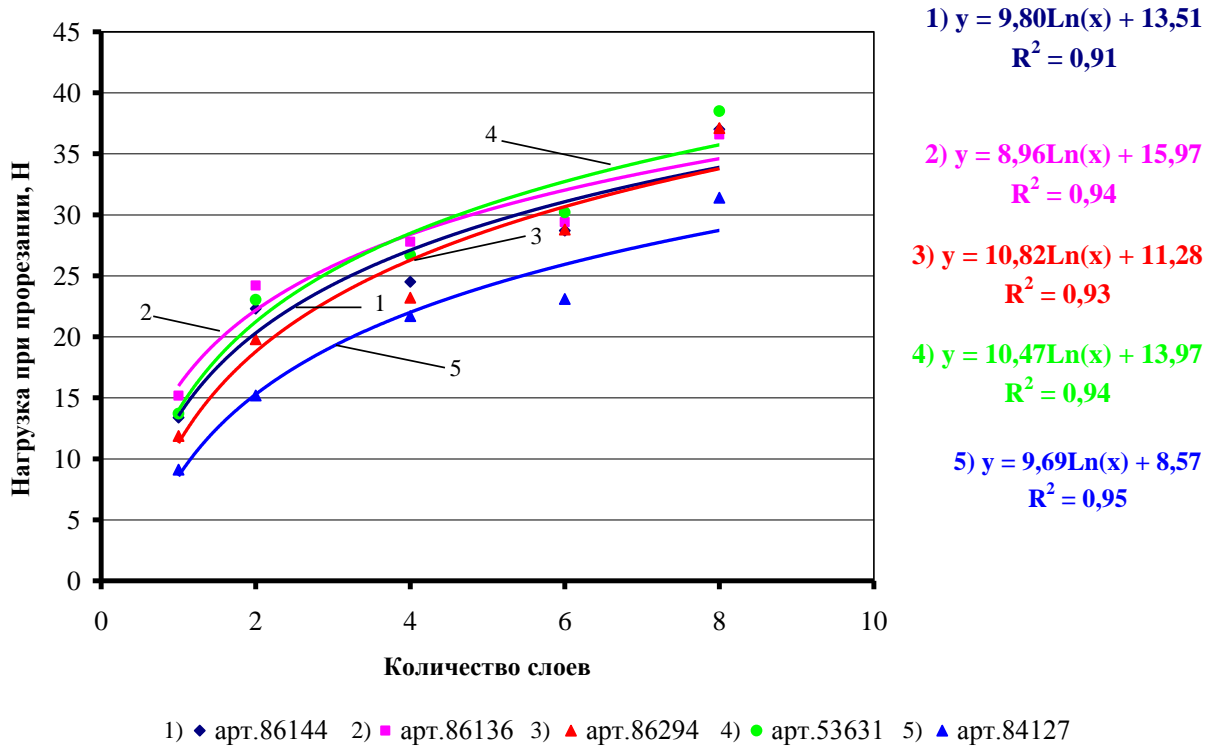


Рисунок 2.49 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 100 мм/мин от количества слоев

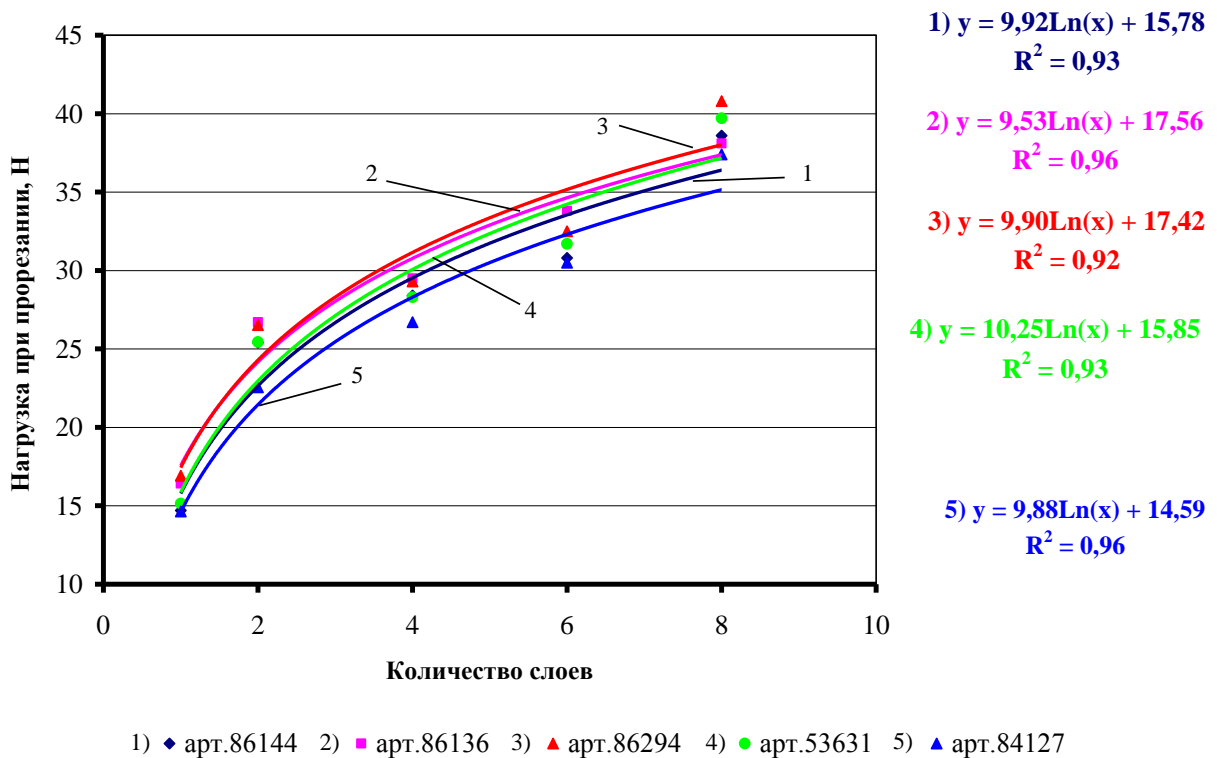


Рисунок 2.50 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 250 мм/мин от количества слоев

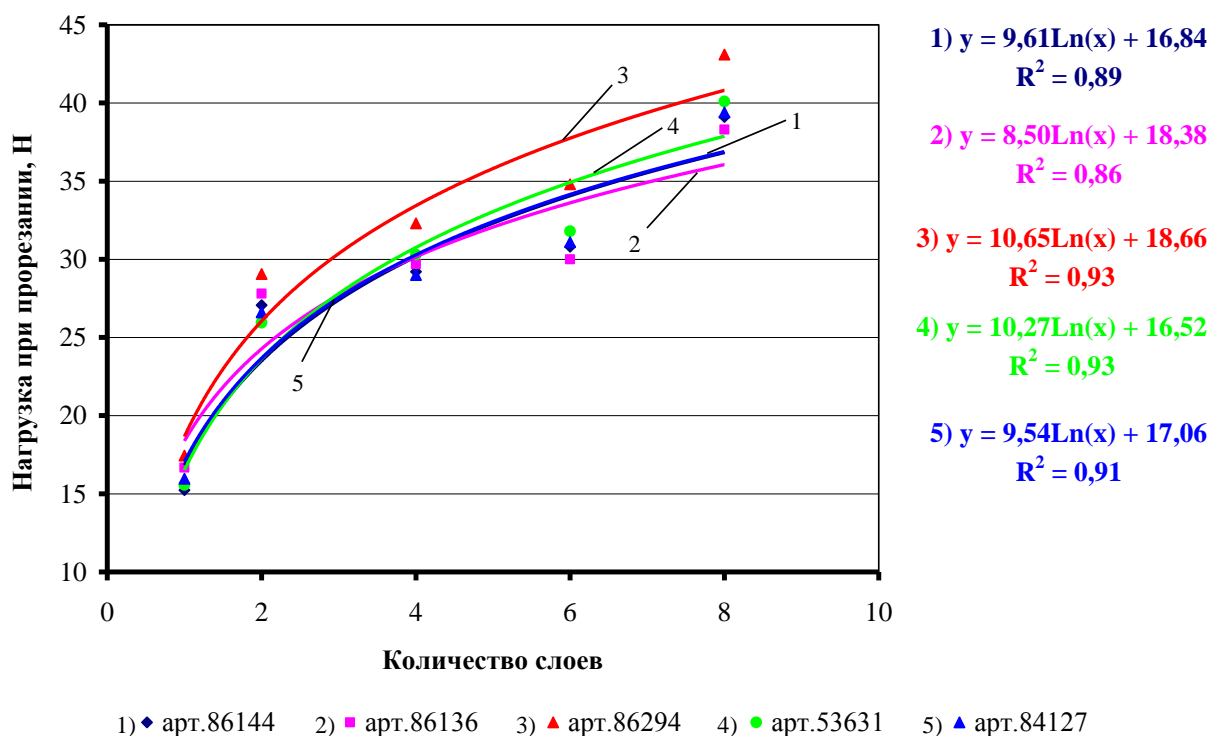


Рисунок 2.51 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 500 мм/мин от количества слоев

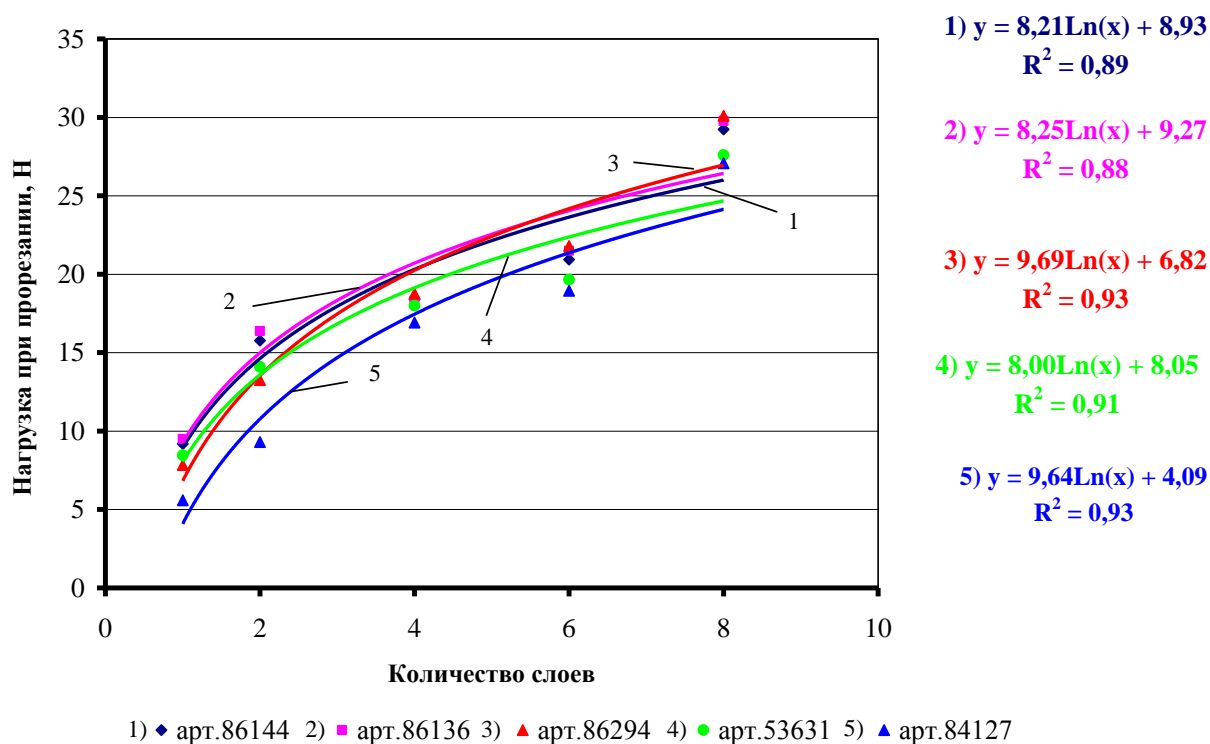


Рисунок 2.52 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 100 мм/мин от количества слоев

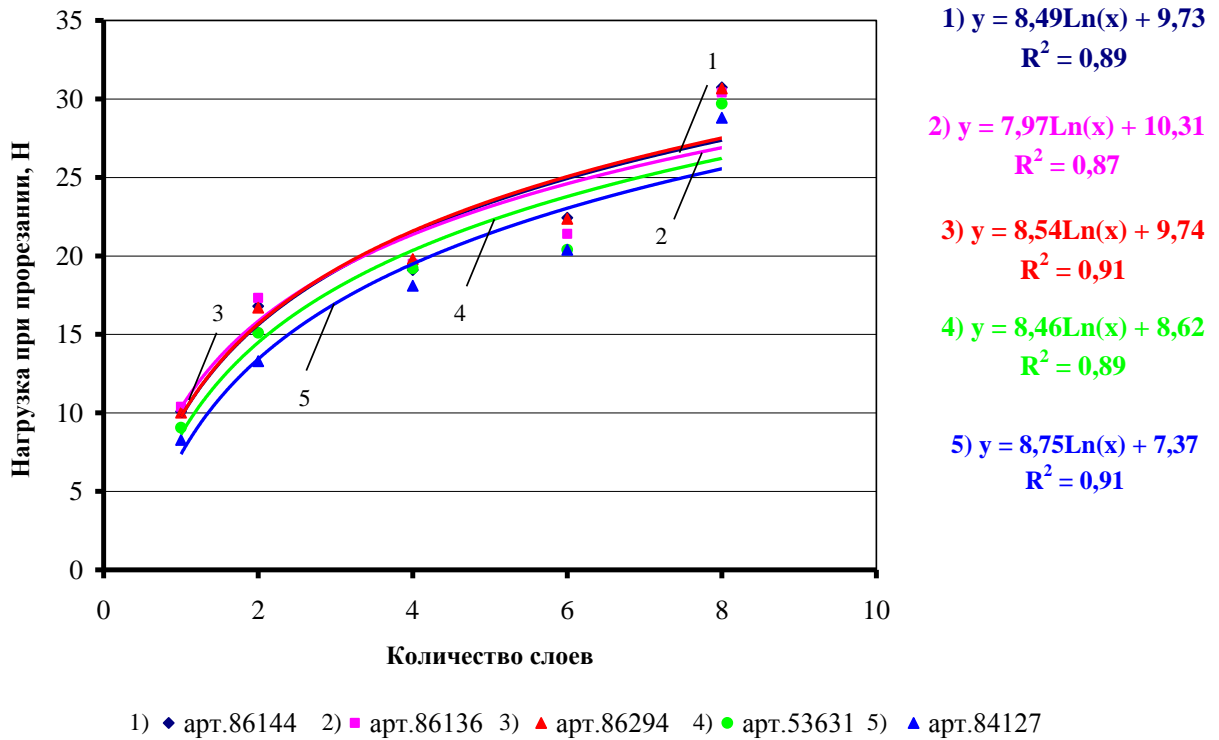


Рисунок 2.53 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 250 мм/мин от количества слоев

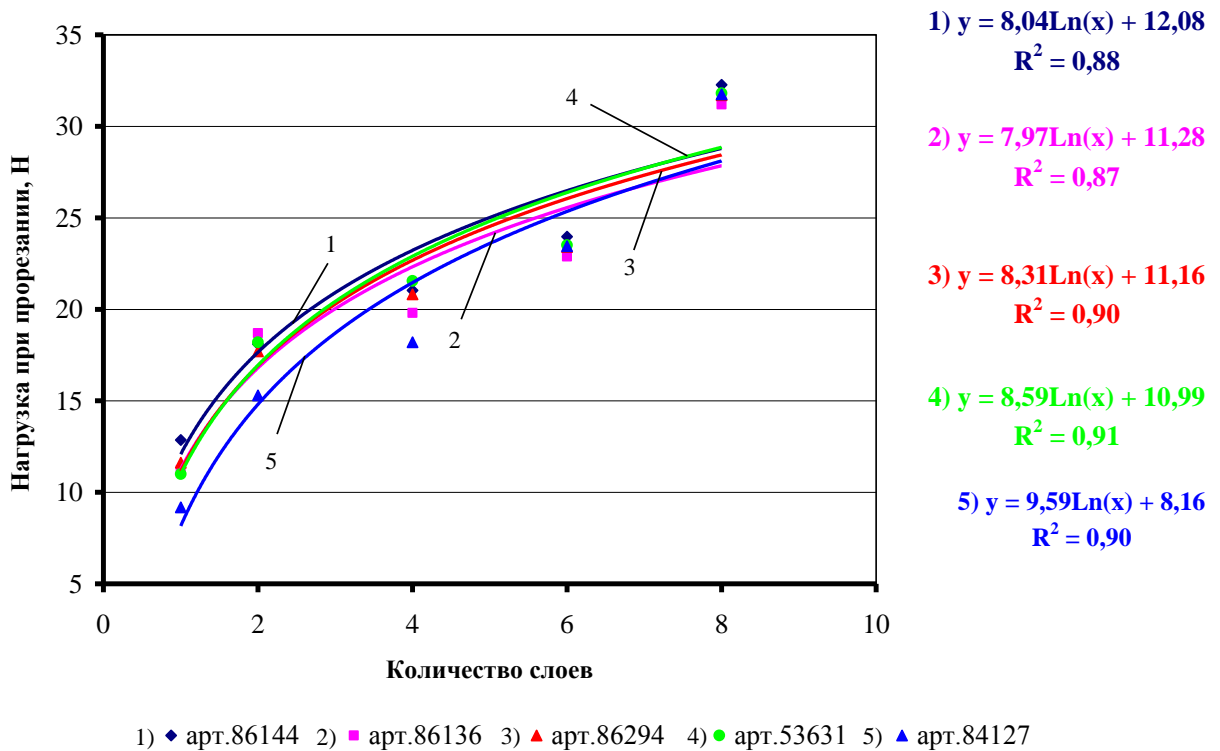


Рисунок 2.54 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 500 мм/мин от количества слоев

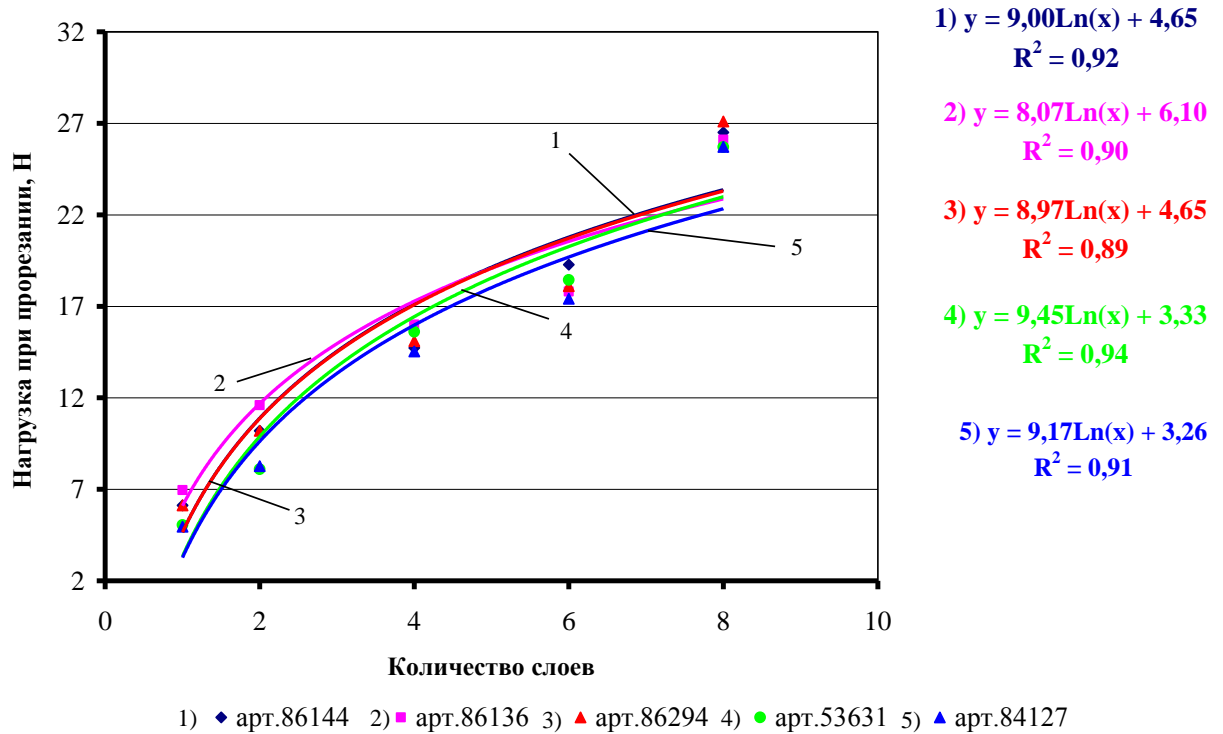


Рисунок 2.55 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 100 мм/мин от количества слоев

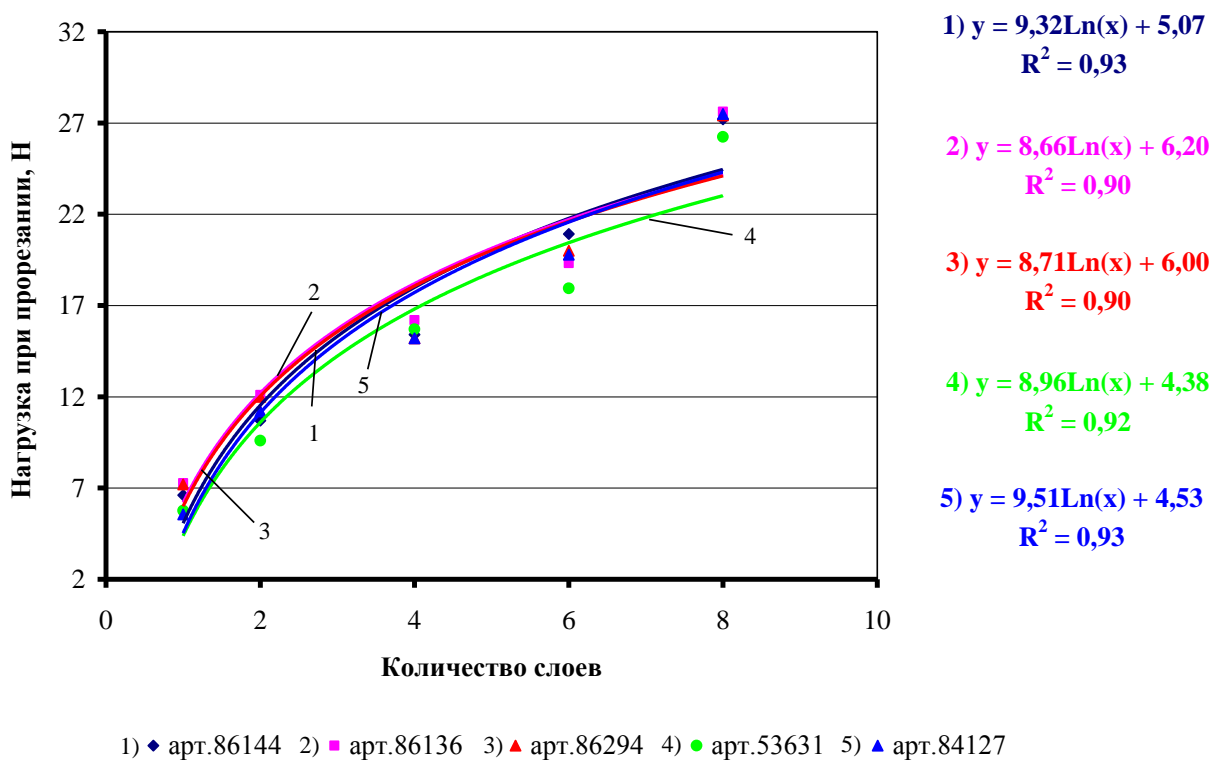


Рисунок 2.56 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 250 мм/мин от количества слоев

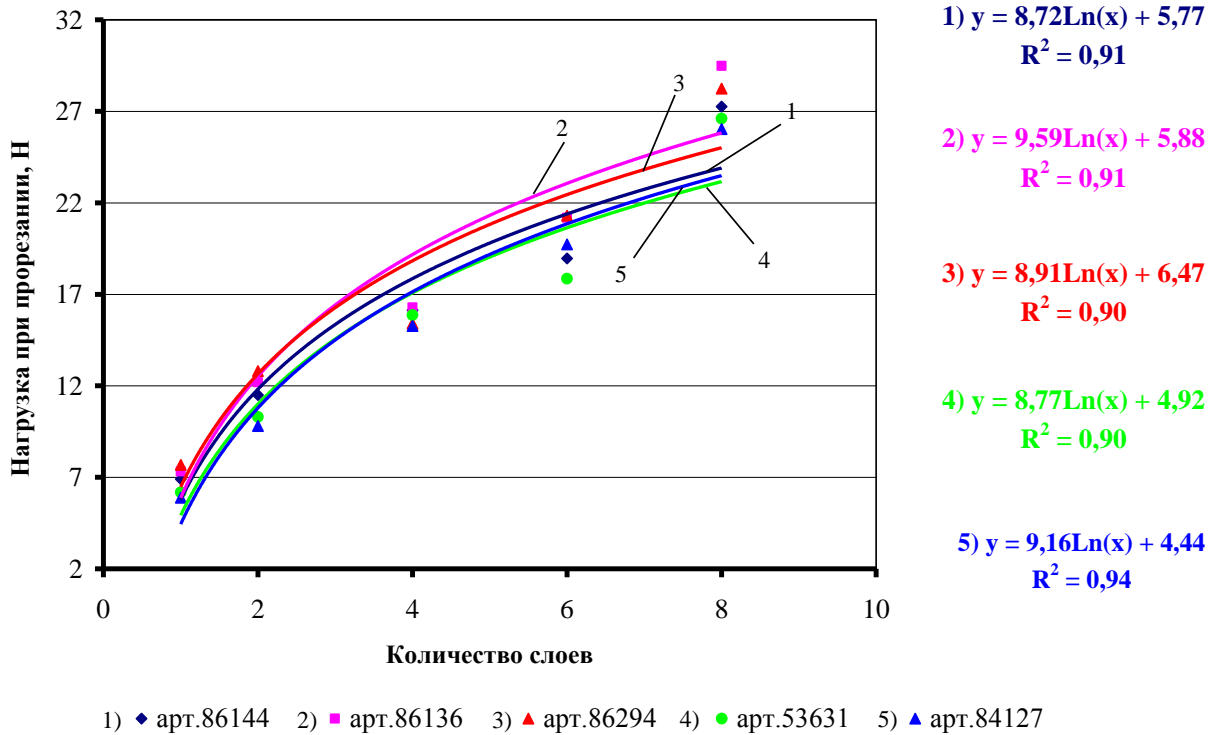


Рисунок 2.57 – Зависимость нагрузки при прорезании при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 500 мм/мин от количества слоев

Данная зависимость определяется логарифмической функцией:

$$y = a \ln(x) + b, \quad (2.4)$$

где y – нагрузка при прорезании, Н;
 x – количества слоев;
 a, b – расчетные коэффициенты.

В зависимости от количества слоев нагрузка при прорезании увеличивается. Также можно отметить, что величина показателя для одного слоя не имеет большого значения, так как у всех тканей она практически одинаковая. Также увеличение нагрузки при прорезании у всех тканей происходит с одинаковой интенсивностью, таким образом кривые на графиках группируются довольно плотно.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 100 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 53631, так кривая, соответствующая данной зависимости имеет наибольший наклон, а

наименьшее – арт. 84127, кривая, соответствующая данной зависимости имеет наименьший наклон. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 250 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 53631. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 86136.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 40% и скорости движения индентора 500 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 84127, а наименьшее – арт. 86136. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 100 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 86144, а наименьшее – арт. 84127. Наибольшими показателями обладает арт. 53631, а наименьшими – арт. 86144.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 250 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 86144, а наименьшее – арт. 86136. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 65% и скорости движения индентора 500 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 53631 и арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 100 мм/мин выявлено, что наибольшее из-

менение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 84127. Наибольшими показателями обладает арт. 53631, а наименьшими – арт. 86294.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 250 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 86144, а наименьшее – арт. 86294. Наибольшими показателями обладает арт. 84127, а наименьшими – арт. 86144.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании при влажности ткани 90% и скорости движения индентора 500 мм/мин выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от количества слоев наблюдается у арт. 86144, а наименьшее – арт. 86294. Наибольшими показателями обладает арт. 86144, а наименьшими – арт. 84127.

2.9. Исследование влияния скорости движения индентора на нагрузку при прорезании однозаточенным ножом баллистических тканей

Аналогично индентору в виде пики скорость движения индентора влияет на нагрузку при прорезании, что может говорить о том, что конструктивные особенности инденторов при разной вариации скорости проникновения в ткань в данном случае незначительно сказываются на величине нагрузки при прорезании, однако диапазон скоростей оказывает существенное влияние на стойкость тканей к механическим воздействиям.

На основе результатов испытаний (таблица 2.6) получены зависимости усилия прокола баллистических тканей от скорости движения индентора.

На рисунках 2.58 – 2.72 приведены зависимости усилия прокола от количества слоев параарамидной ткани.

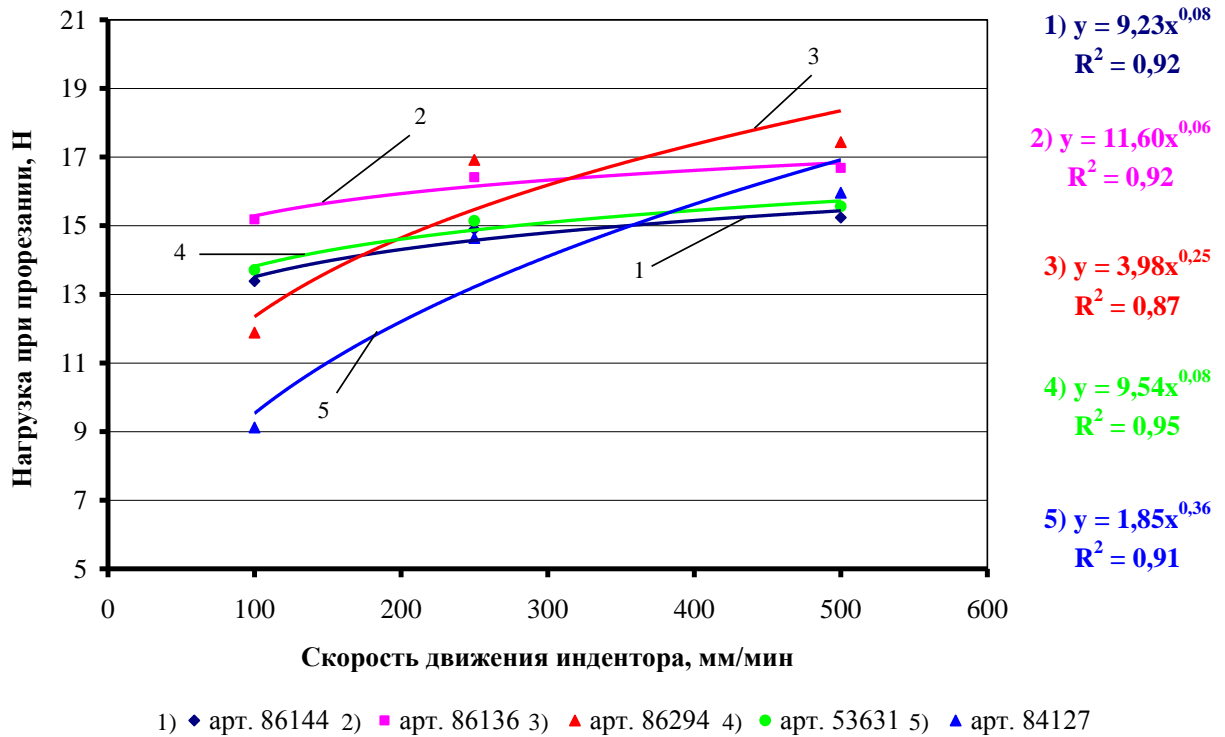


Рисунок 2.58 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 1 слой при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

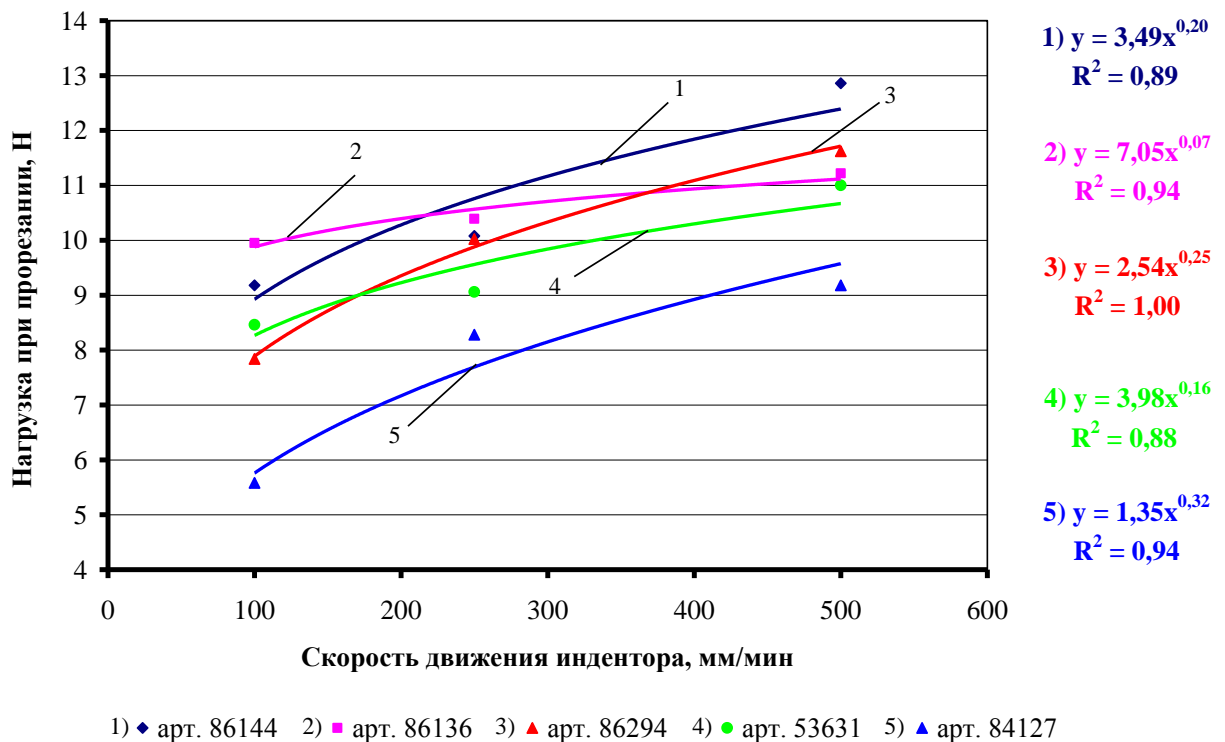


Рисунок 2.59 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 1 слой при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

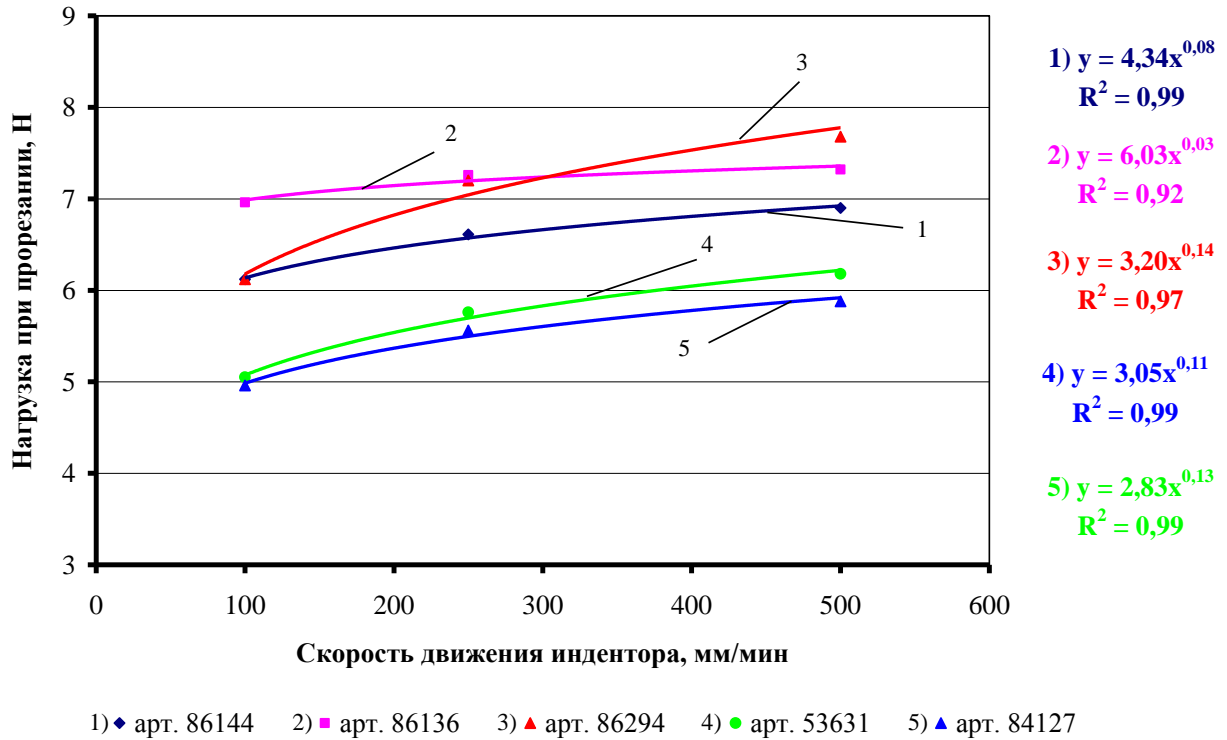


Рисунок 2.60 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 1 слой при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

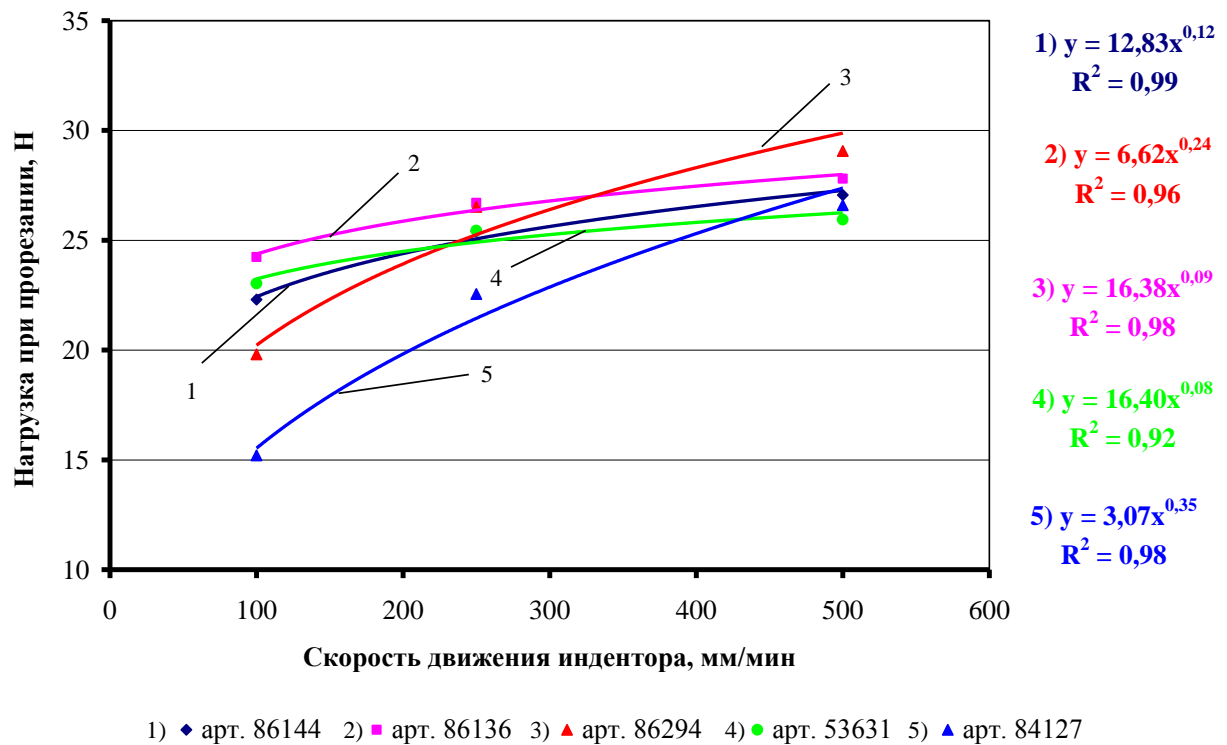


Рисунок 2.61 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

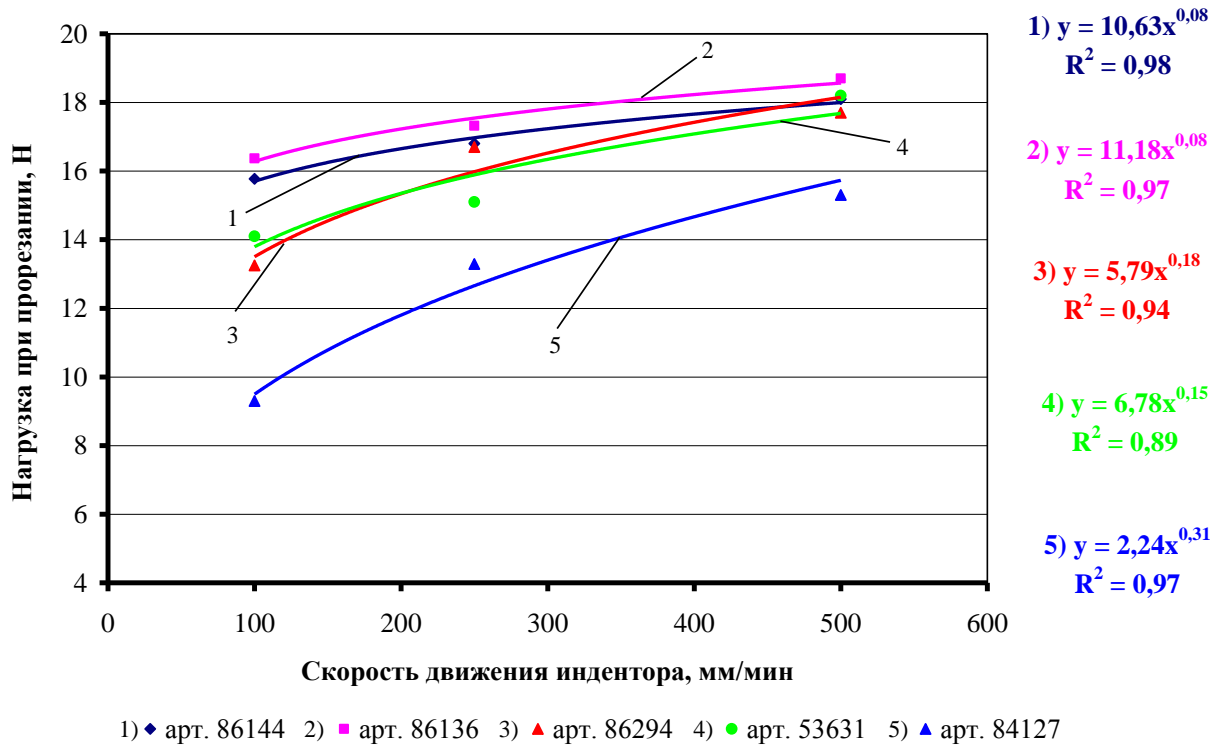


Рисунок 2.62 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

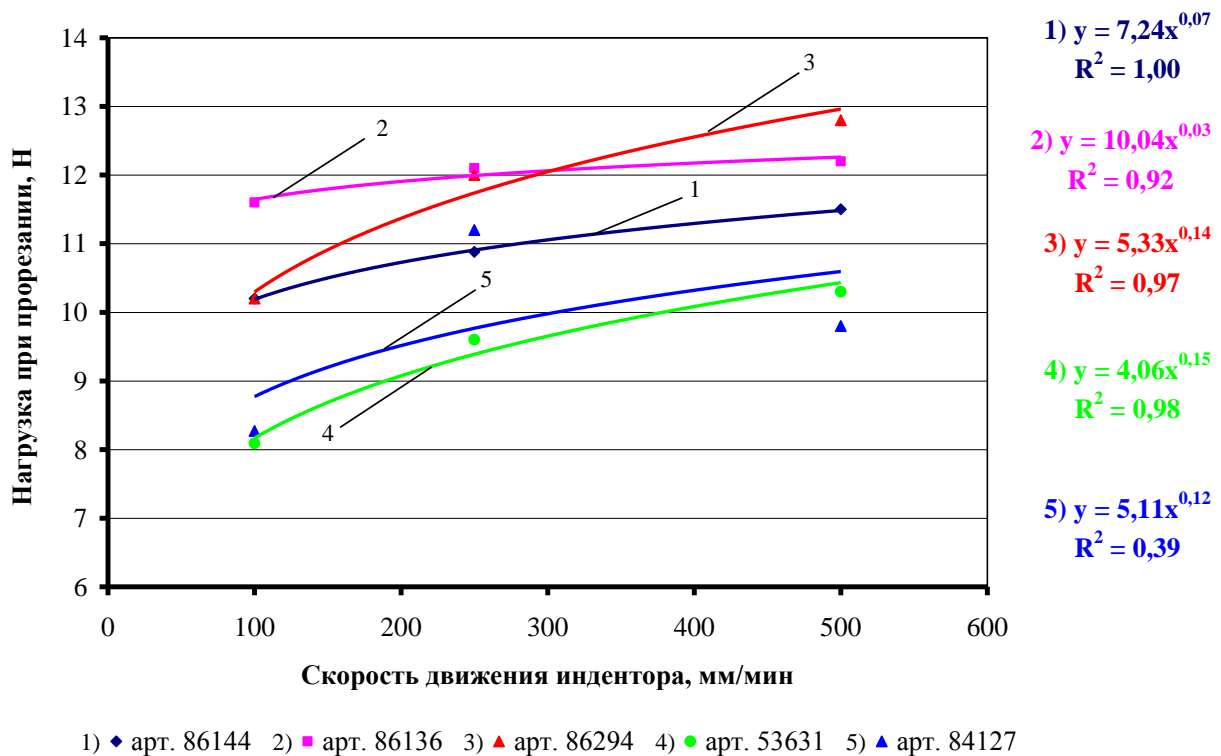
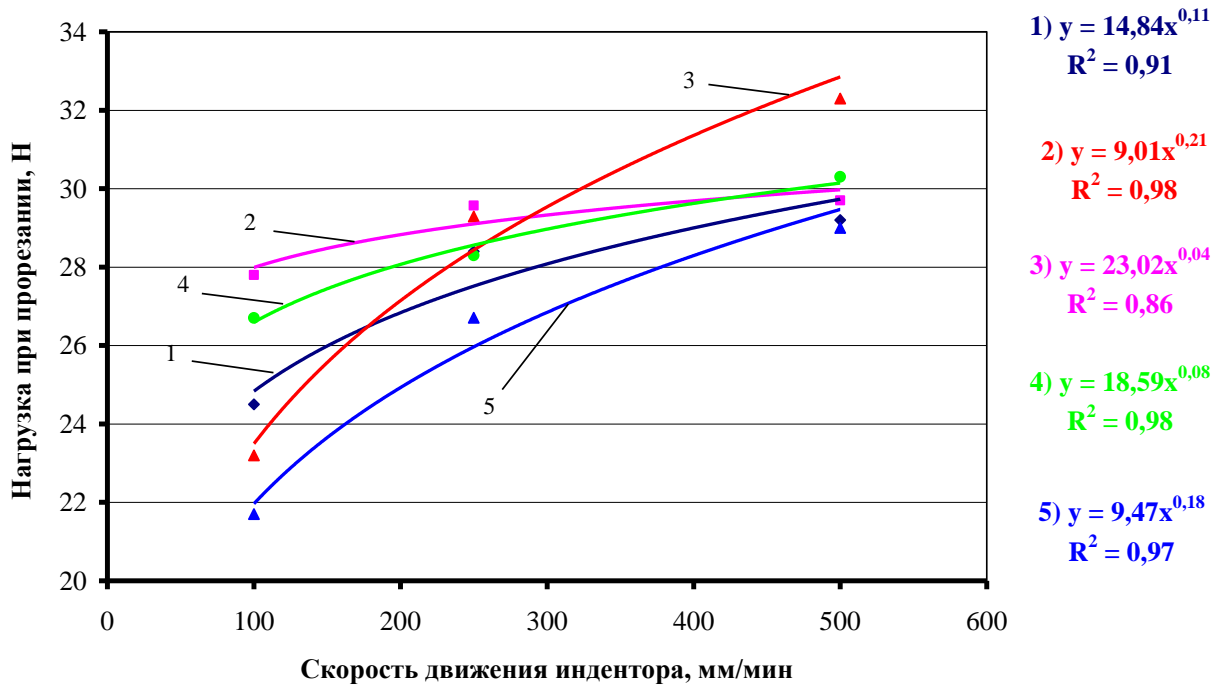
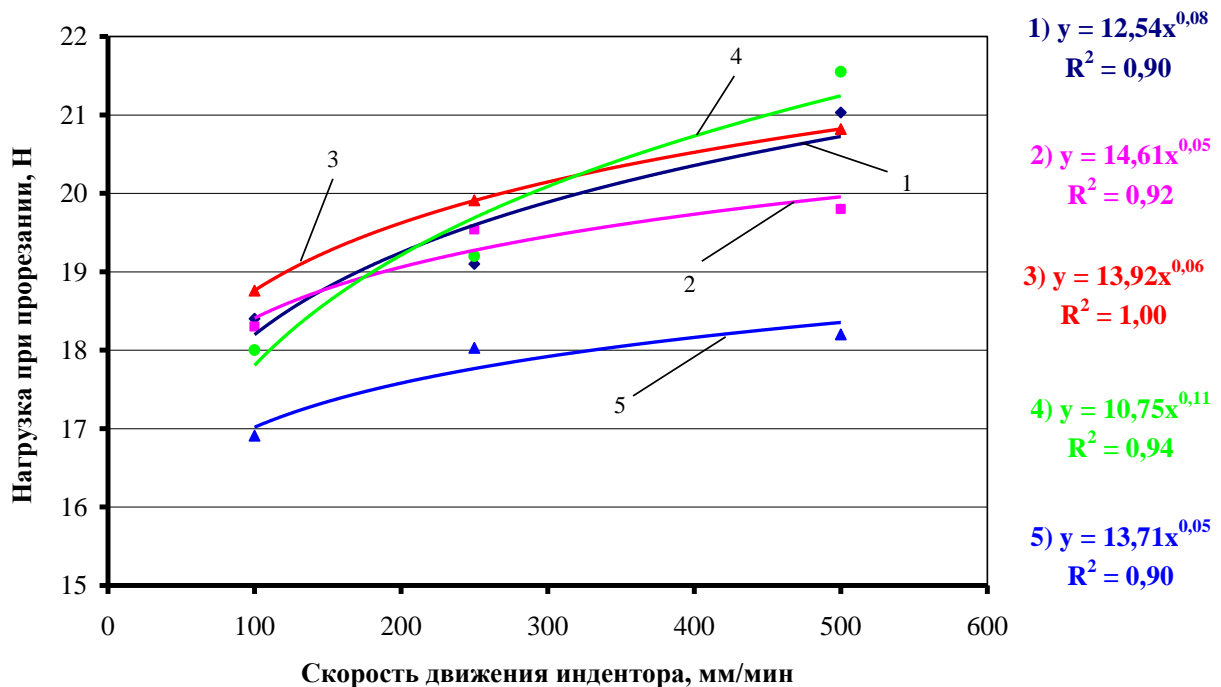


Рисунок 2.63 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при влажности ткани 90% от скорости движения индентора



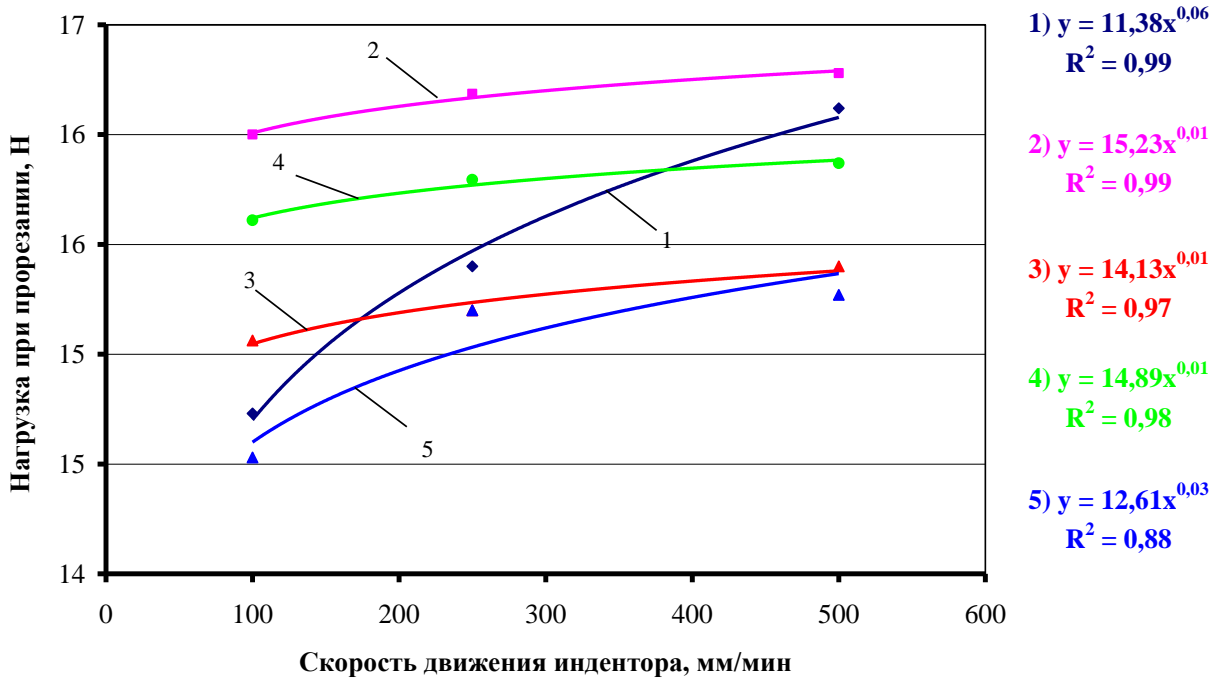
1) \blacklozenge арт. 86144 2) \blacksquare арт. 86136 3) \blacktriangle арт. 86294 4) \bullet арт. 53631 5) \blacktriangle арт. 84127

Рисунок 2.64 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора



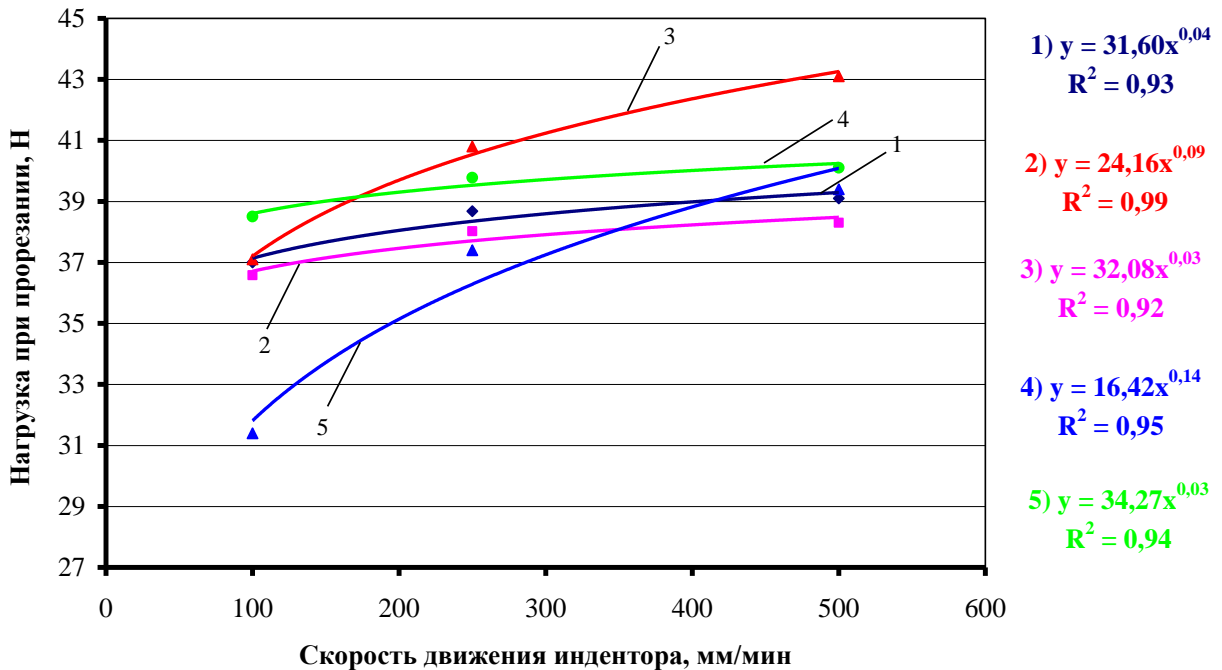
1) \blacklozenge арт. 86144 2) \blacksquare арт. 86136 3) \blacktriangle арт. 86294 4) \bullet арт. 53631 5) \blacktriangle арт. 84127

Рисунок 2.65 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора



1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.66 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при влажности ткани 90% от скорости движения индентора



1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.67 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

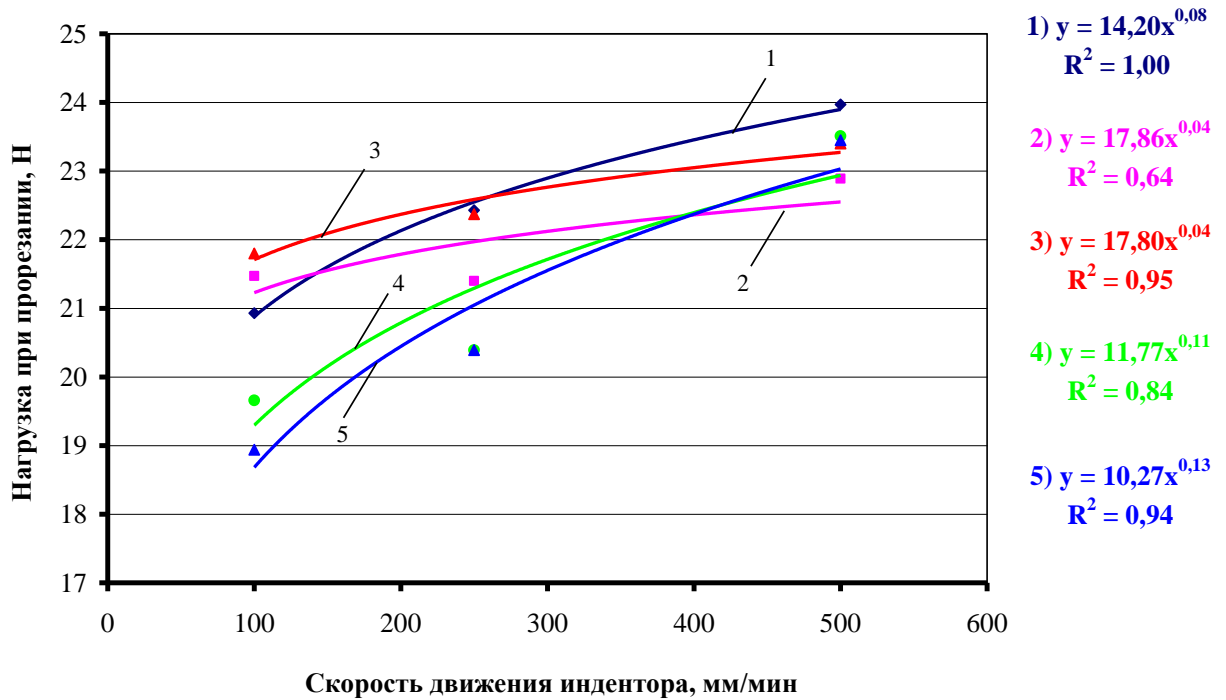


Рисунок 2.68 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при влажности ткани 65% от скорости движения индентора

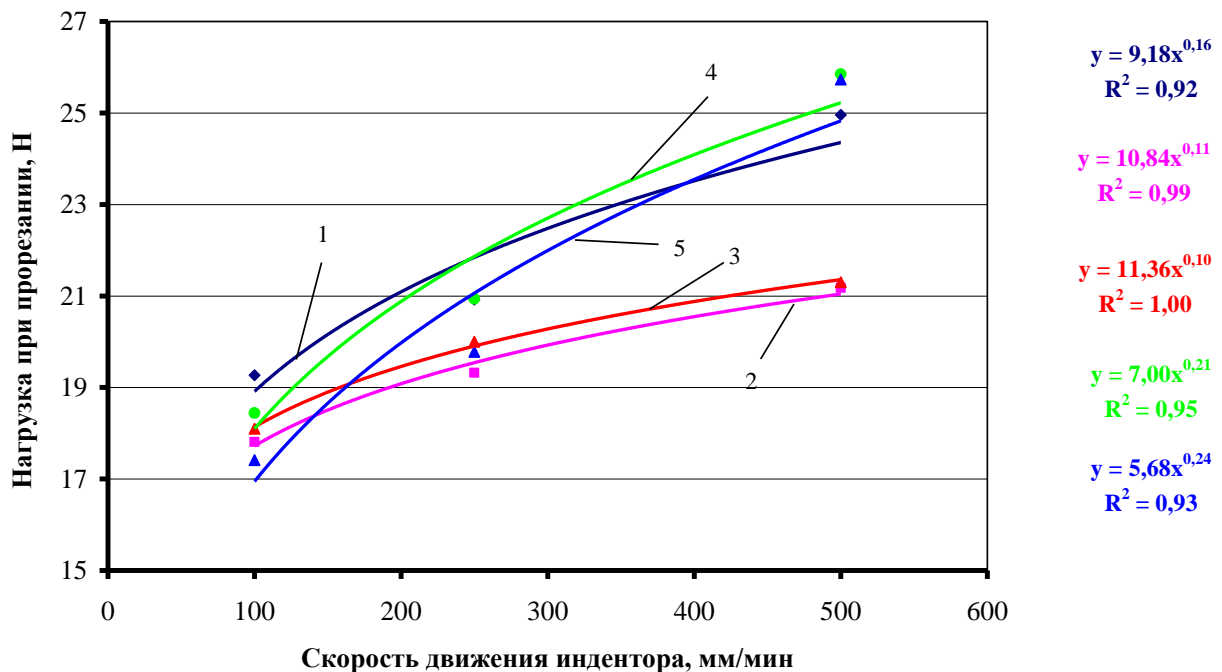


Рисунок 2.69 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

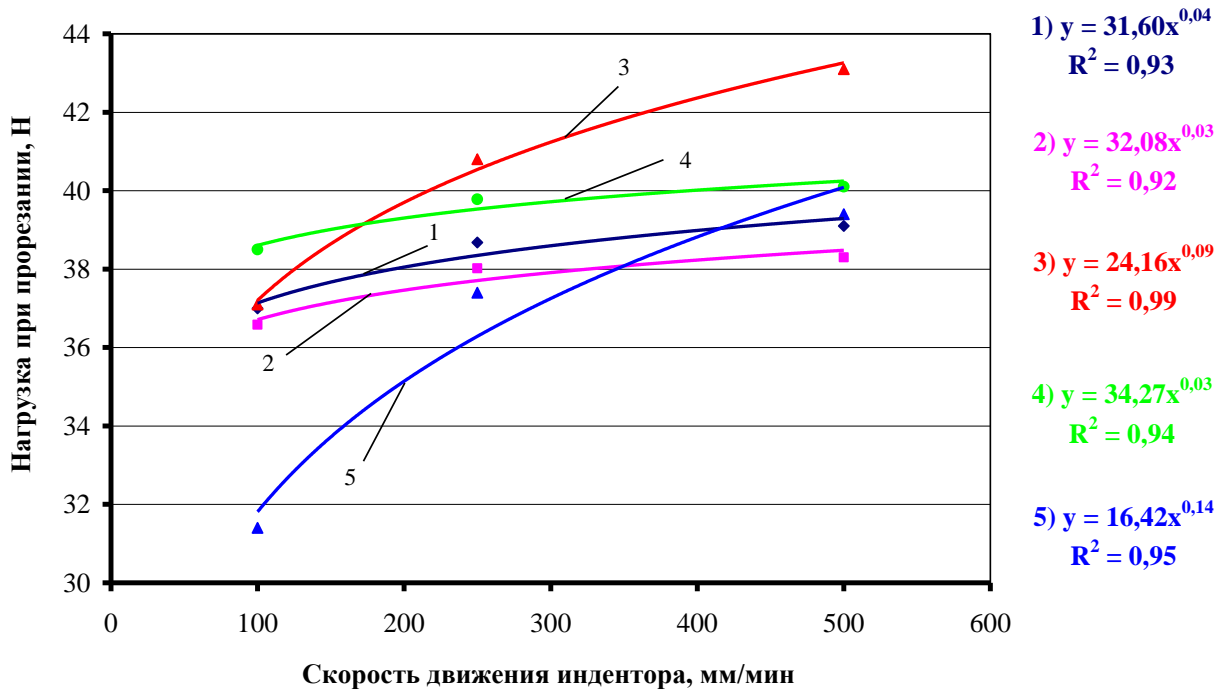


Рисунок 2.70 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 8 слоев при влажности ткани 40% от скорости движения индентора

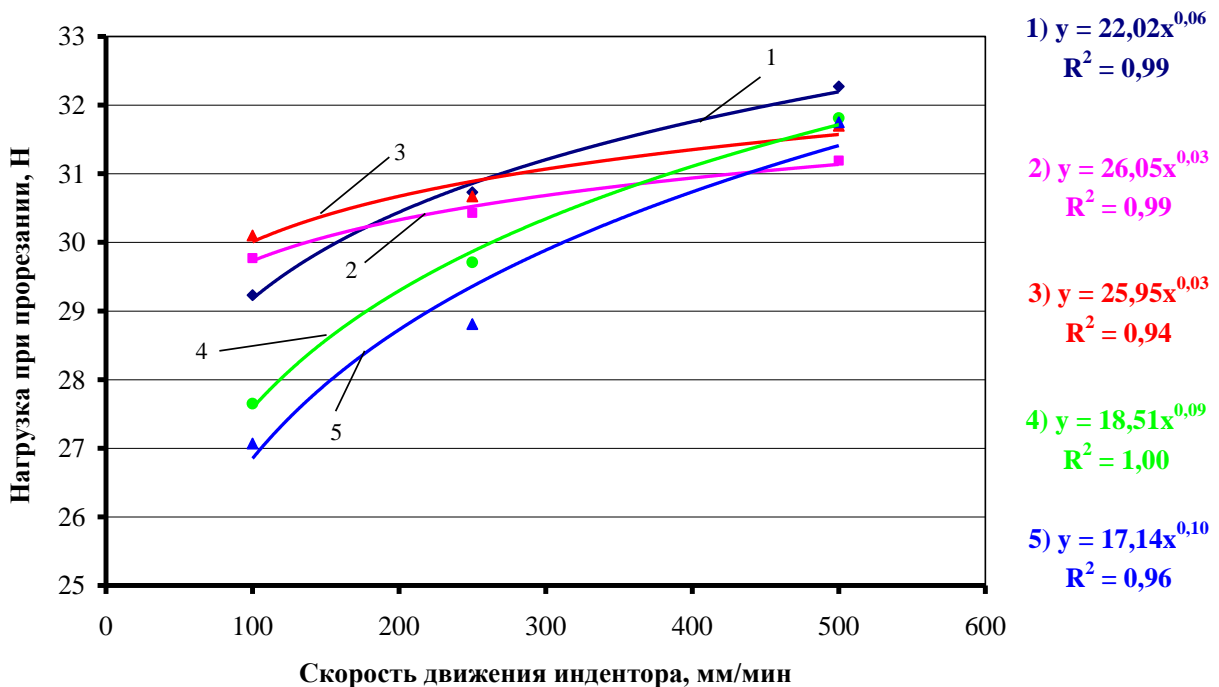
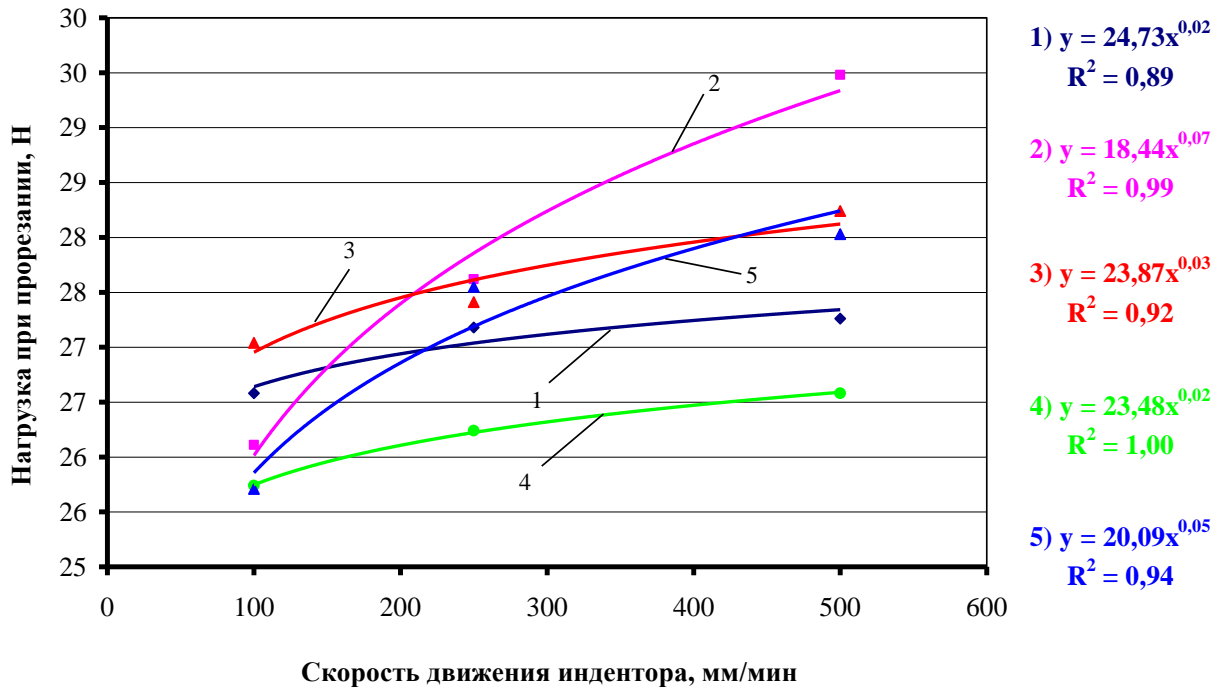


Рисунок 2.71– Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 8 слоев при влажности ткани 65% от скорости движения индентора



1) \blacklozenge арт. 86144 2) \blacksquare арт. 86136 3) \blacktriangle арт. 86294 4) \bullet арт. 53631 5) \blacktriangle арт. 84127

Рисунок 2.72 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 8 слоев при влажности ткани 90% от скорости движения индентора

Данная зависимость определяется степенной функцией:

$$y = a \cdot x^b, \quad (2.5)$$

где y – нагрузка при прорезании, Н ;

x – скорость движения индентора, мм/мин;

a, b – расчетные коэффициенты.

Аналогично индентору в виде пики скорость движения индентора влияет на усилие при прорезании. Однако при прочих равных условиях нагрузка при прорезании индентором в виде ножа имеет более высокие значения, чем у индентора в виде пики. Это связано с геометрией строения инденторов. Наличие одного режущего лезвия у ножа и большей площадью поперечного сечения по сравнению с пики приводит к увеличению нагрузки при прорезании. Механика проникновения ножа существенно отличается от механики проникновения в виде пики. При проникновении ножа ткань вначале удлиняется, а в дальнейшем происходит раздвижка нитей с одновременным их разрезанием, что и оказывает основное сопро-

тивление ткани проникновению индентора, в отличие от пики, которая только раздвигает нити без разрушения.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86136, так прямая, соответствующая данной зависимости имеет наибольший наклон, а наименьшее – арт. 53631, прямая, соответствующая данной зависимости имеет наименьший наклон. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при влажности ткани 40% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 53631. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при влажности ткани 40% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86144, а наименьшее – арт. 84127. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 86144.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт. 53631, а наименьшее – арт. 84127. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при влажности ткани 65% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт. 53631, а наименьшее – арт. 86294. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при влажности ткани 65% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт.86294, а наименьшее – арт. 53631. Наибольшими показателями обладает арт. 86294, а наименьшими – арт. 86294.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при влажности ткани 90% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 84127. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

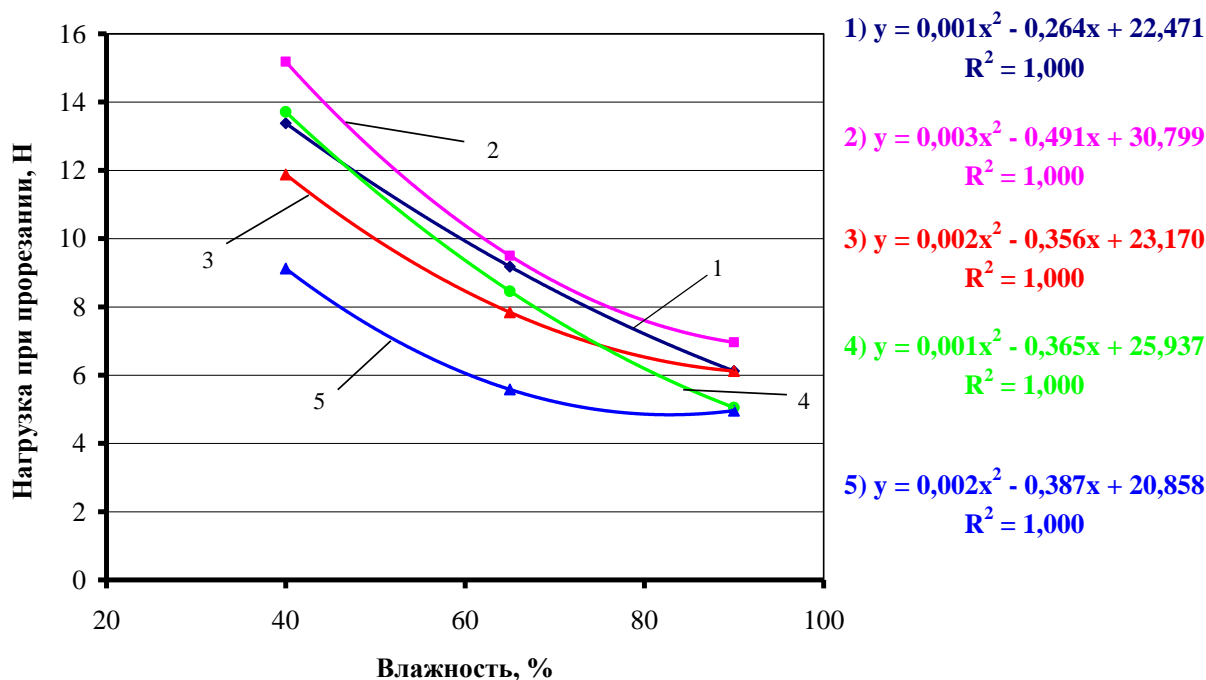
При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при влажности 90% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора слоев наблюдается у арт. 86294, а наименьшее – арт. 86144. Наибольшими показателями обладает арт. 86136, а наименьшими – арт. 84127.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при влажности ткани 90% от скорости движения индентора выявлено, что наибольшее изменение нагрузки при прорезании от скорости движения индентора наблюдается у арт. 84127, а наименьшее – арт. 86294. Наибольшими показателями обладает арт. 53631, а наименьшими – арт. 86144.

2.10. Исследование зависимости нагрузки при прорезании однозаточенным ножом от влажности баллистических тканей

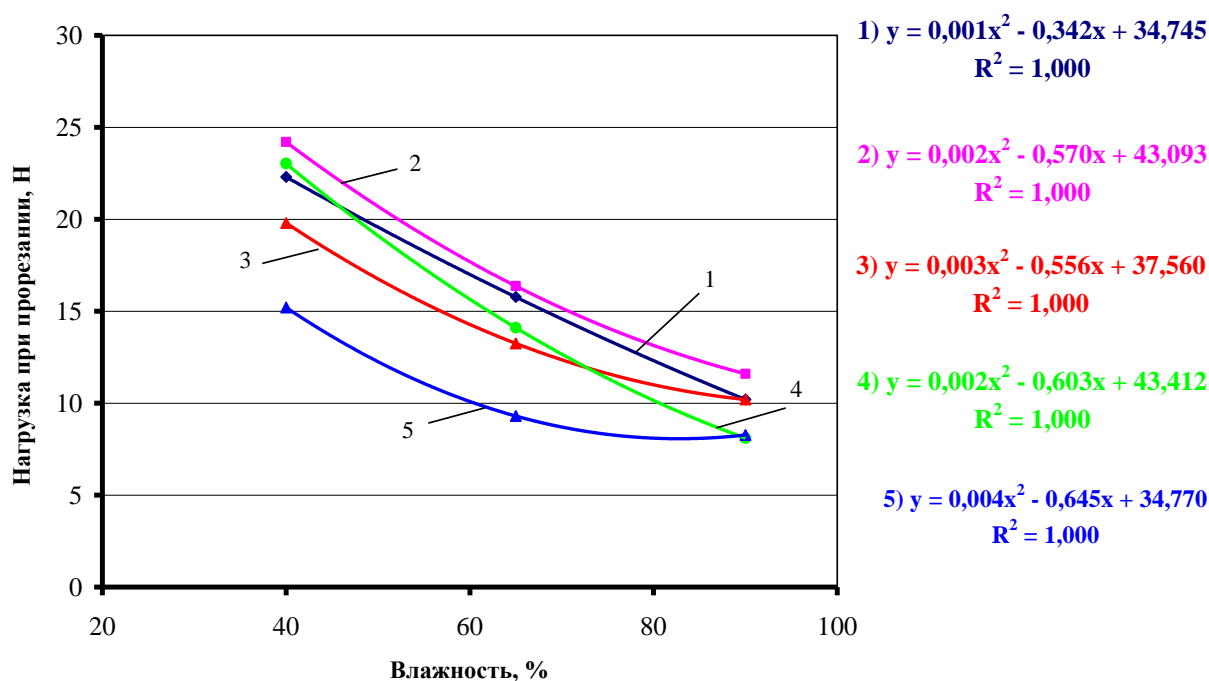
Установлено, что усилие прокола снижается при увеличении влажности тканей. Аналогичное действие влажность ткани оказывает и на нагрузку при прорезании (таблица 2.6).

На рисунках 2.73 – 2.87 приведены зависимости нагрузки при прорезании от влажности параарамидной ткани.



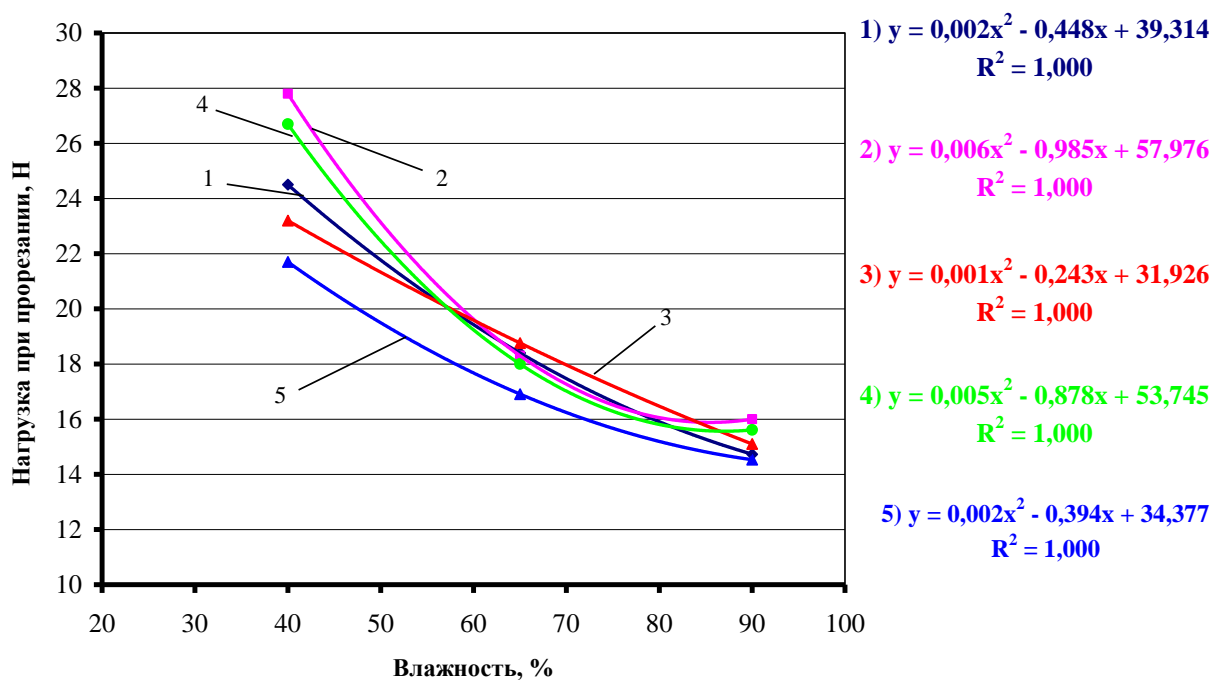
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.73 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 1 слой при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани



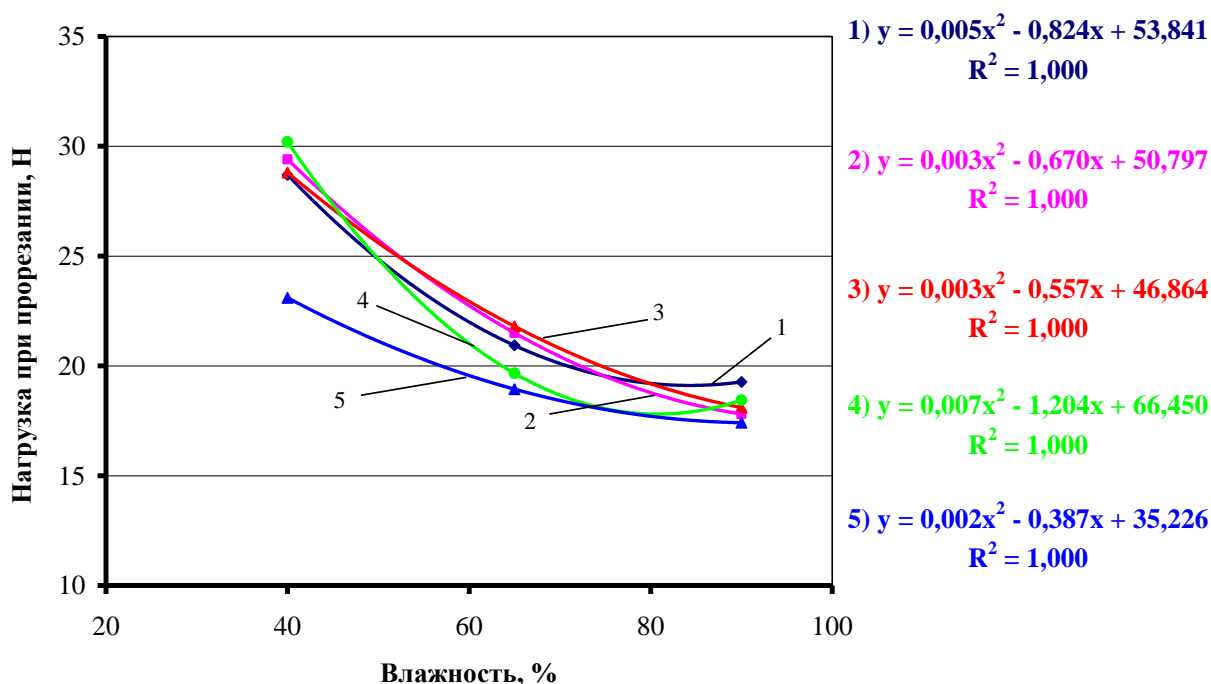
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.74 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани



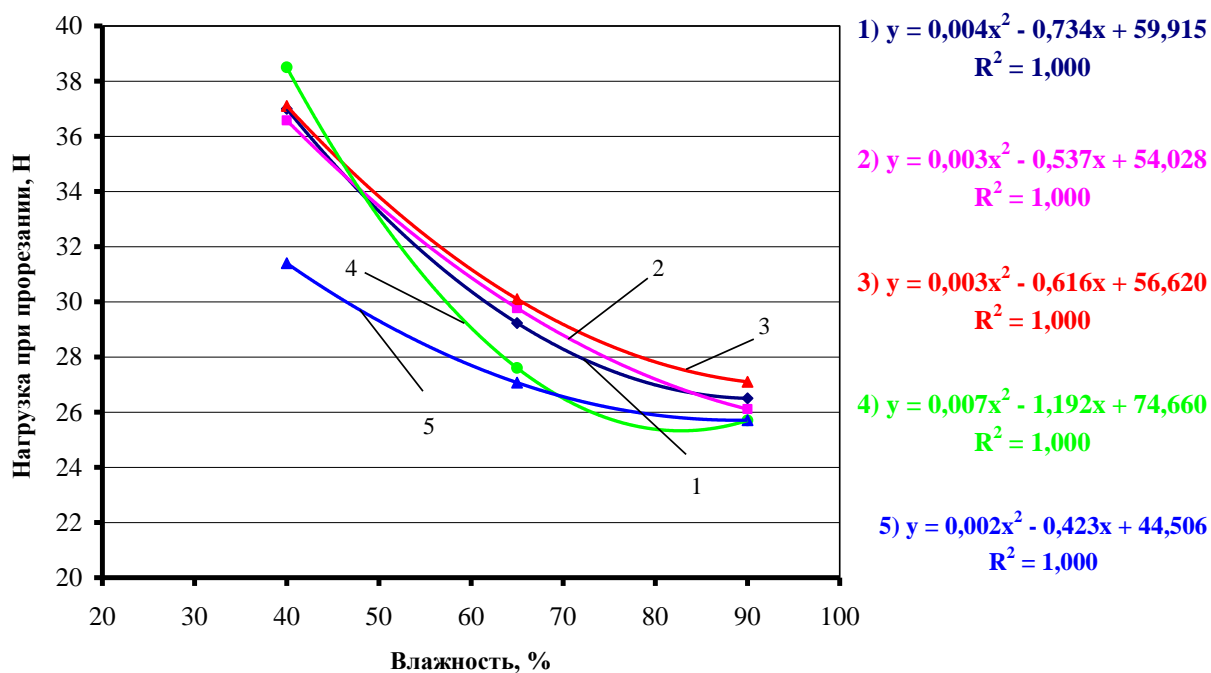
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.75 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани



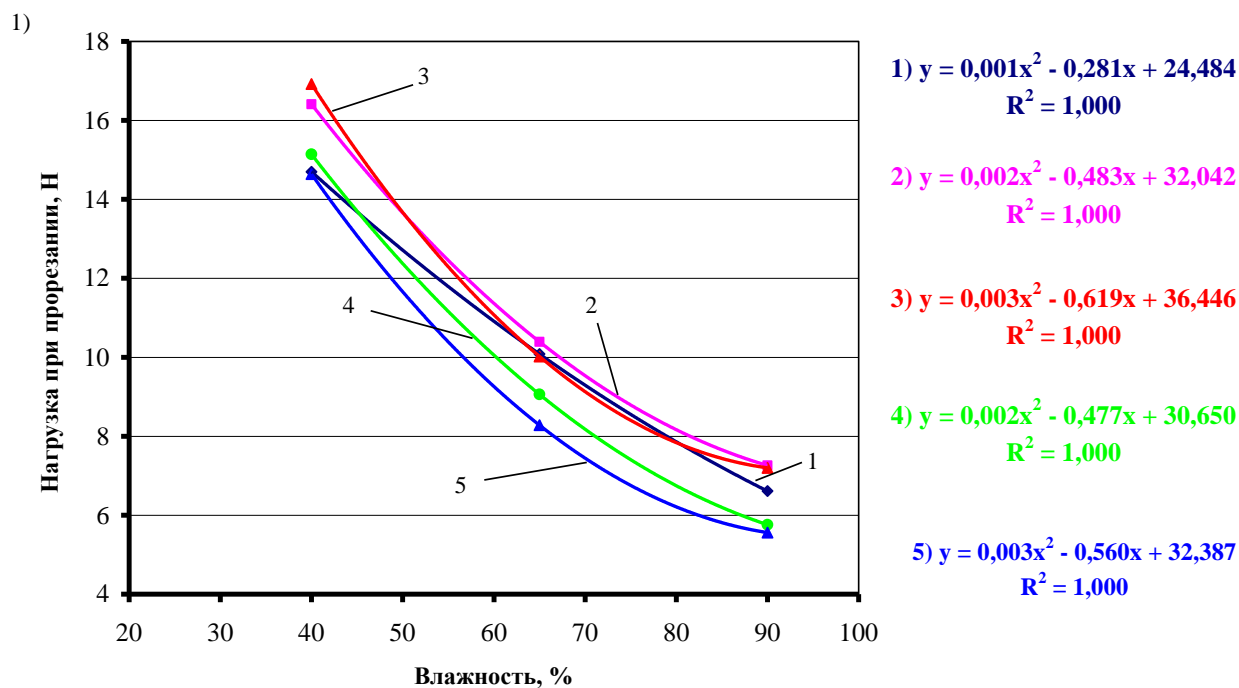
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.76 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.77 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 8 слоев при скорости движения индентора 100 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.78 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 1 слой при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани

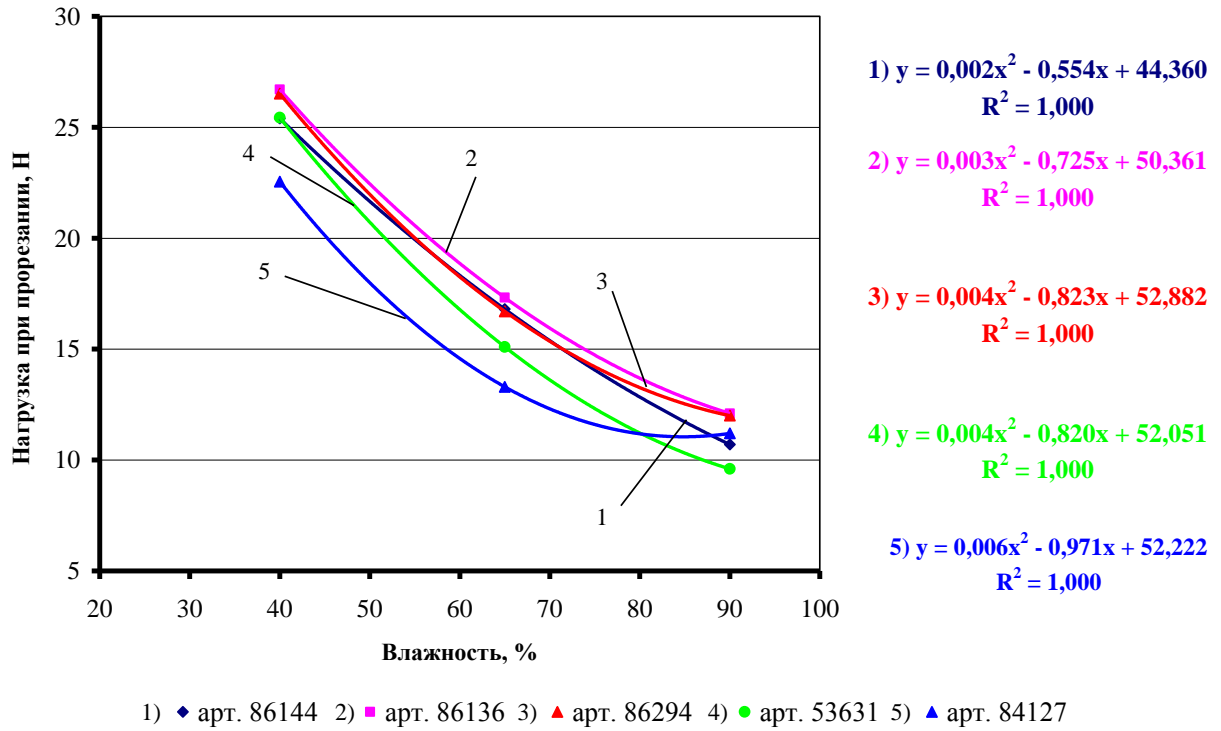


Рисунок 2.79 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности

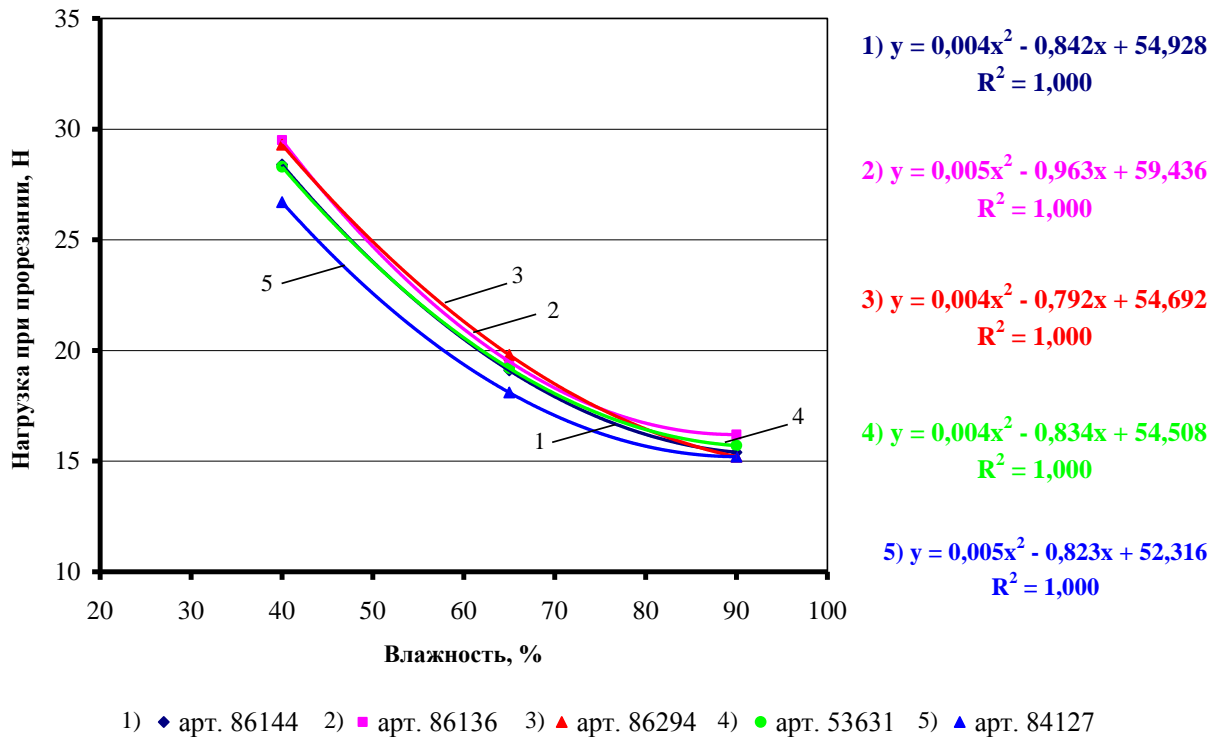
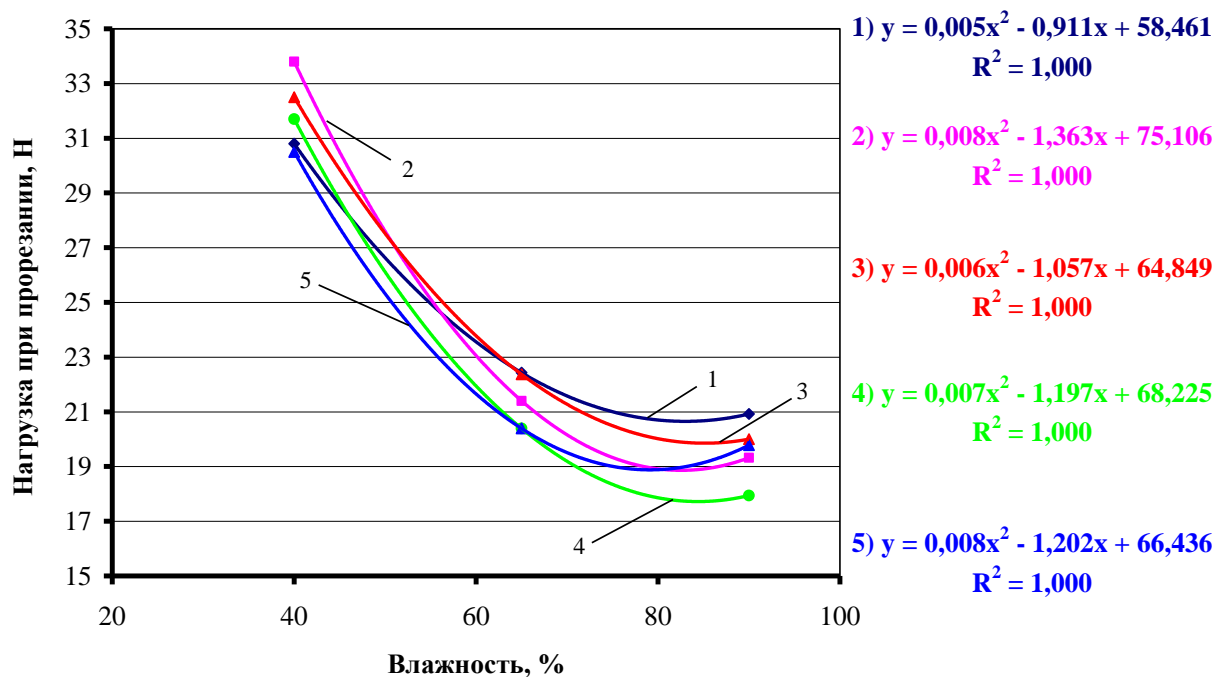
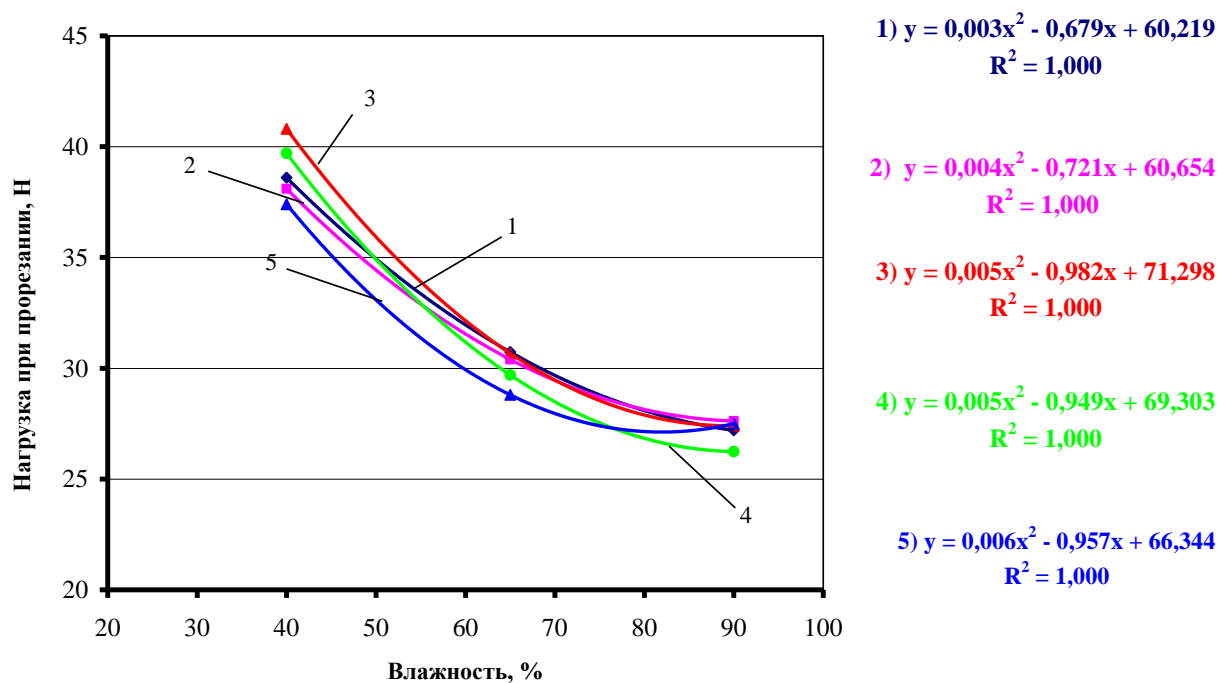


Рисунок 2.80 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани



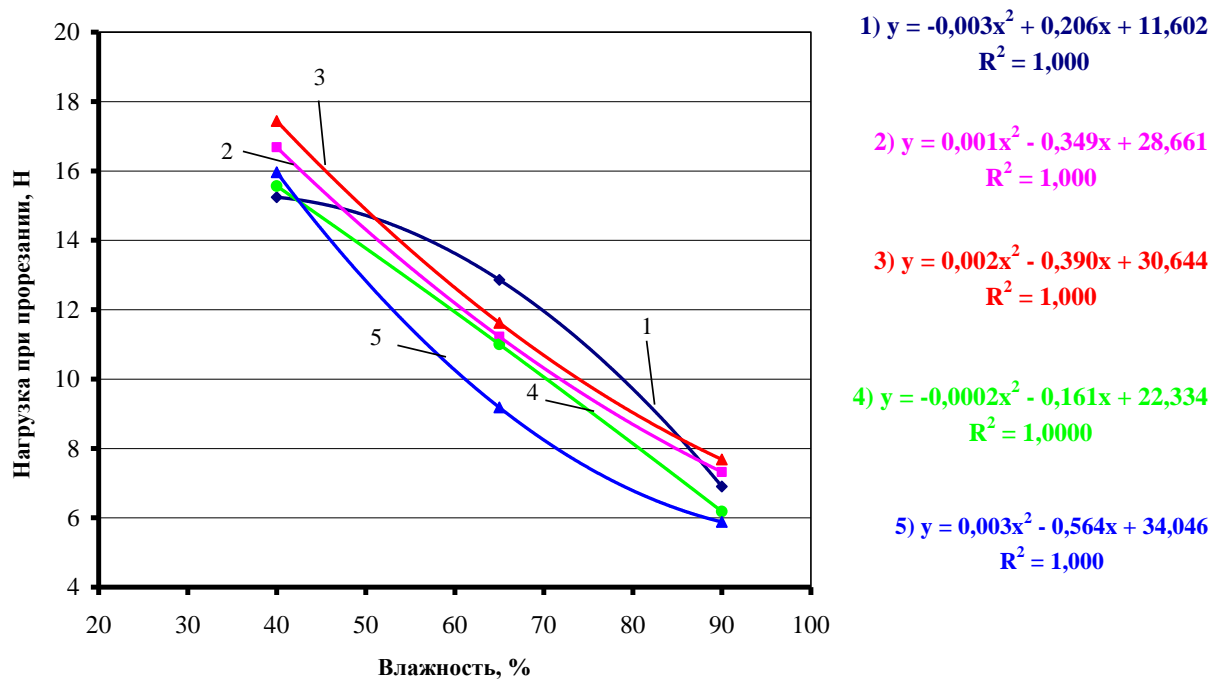
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.81 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани



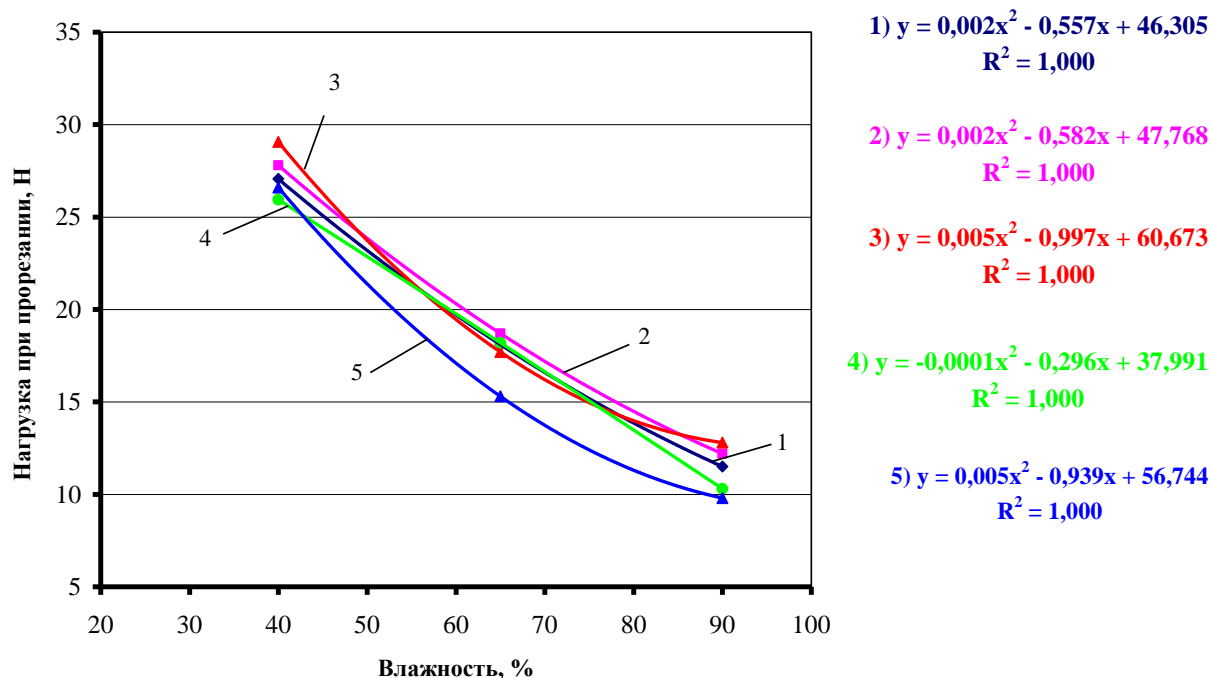
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.82 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 8 слоев при скорости движения индентора 250 мм/мин от влажности ткани



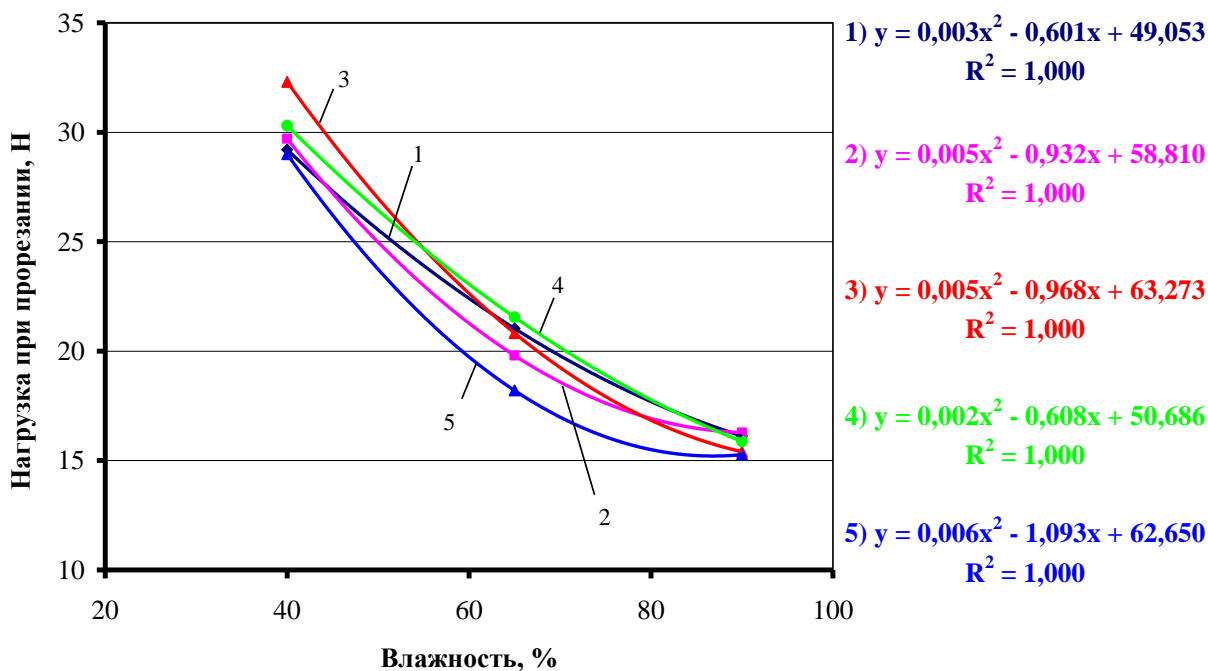
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.83 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 1 слой при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани



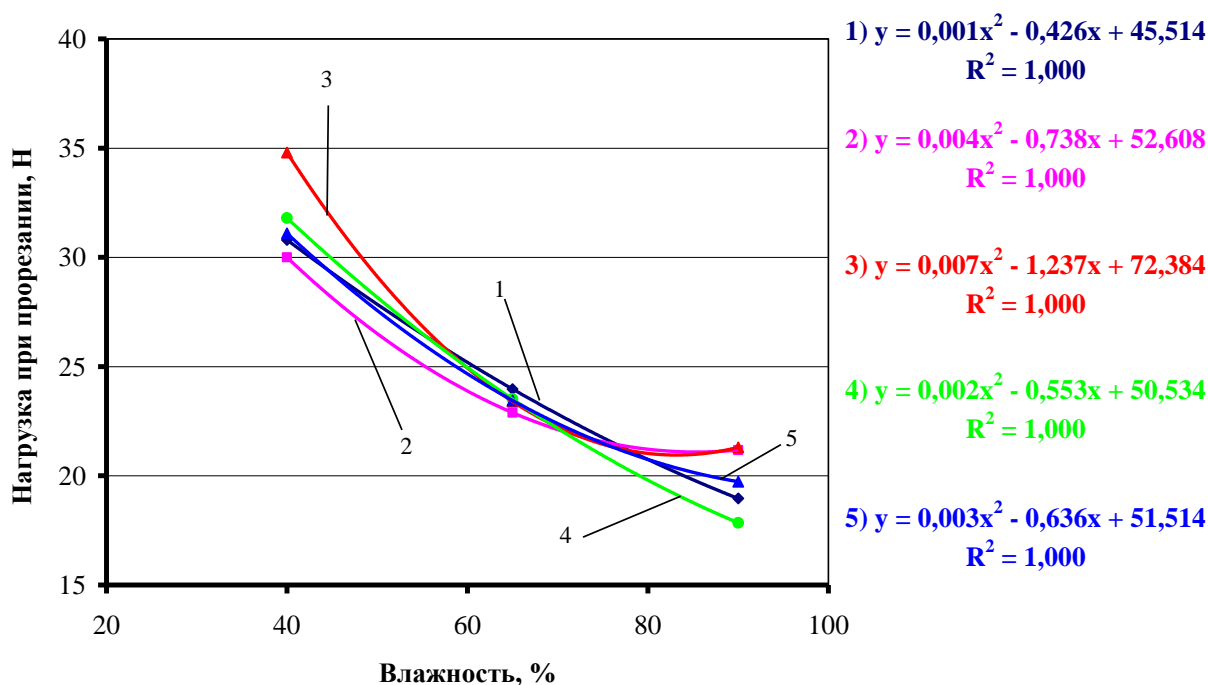
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 6) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.84 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 2 слоя при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани



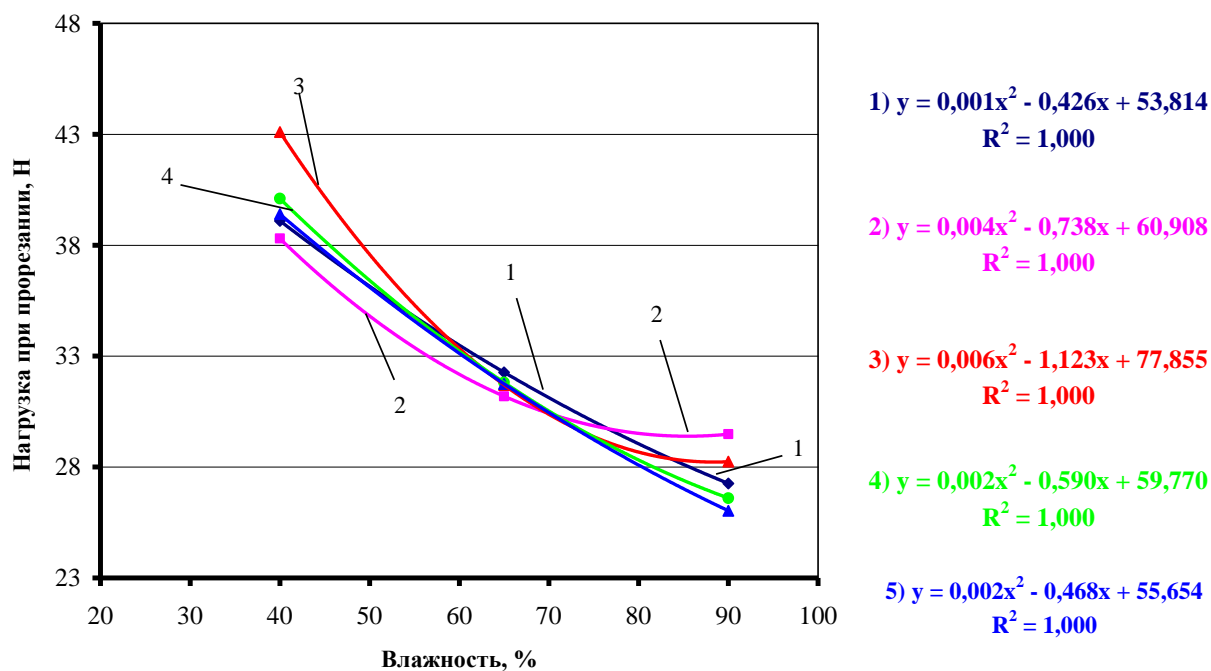
1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.85– Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 4 слоя при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.86 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 6 слоев при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани



1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2.87 – Зависимость нагрузки при прорезании ткани в 8 слоев при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани

Данная зависимость определяется полиномом второго порядка:

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (2.6)$$

где y – нагрузки при прорезании, Н;

x – влажность ткани, %;

a, b, c – расчетные коэффициенты.

При анализе зависимости нагрузки при прорезании от влажности ткани можно сделать вывод, что изменение данного показателя у всех полотен происходит с одинаковой интенсивностью и кривые расположены близко друг к другу.

Выводы по главе

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

2. В процессе исследования установлено, что на свойства баллистических тканей влияет их влажность. Для оценки воздействия водной среды на баллистические ткани были проверены капиллярность и водопоглощение этих тканей. Наибольшее водопоглощение наблюдается у образца полотняного переплетения. Наименьшее водопоглощение наблюдается у образца атласного переплетения, а наибольшая капиллярность у образца саржевого переплетения. Наименьшая капиллярность у образца полотняного переплетения.

3. Так как механические воздействия приводят к изменению пространственной ориентации нитей баллистических тканей, следовательно, в работе проведен ряд испытаний на раздвигаемость нитей в тканях. Наибольшая раздвигаемость у образца атласного переплетения. В зависимости от нахождения образца в мокром состоянии раздвигаемость образцов уменьшается. В мокром состоянии увеличивается гладкость поверхности нитей, что приводит к уменьшению усилия при раздвигаемости.

4. В ГОСТ Р 50744-95 средством поражения является штык нож к автомату АК-74 и его модификациям, данное средство поражения по механике поражения 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 на ткань, необходимо использовать пику.

5. При оценке многократного воздействия индентора на близлежащие точки образца максимальная нагрузка приходится на воздействие в центре образца. Это происходит по причине смещения нитей после предыдущих проколов или порезов к центру, тем самым увеличивается плотность заполнения нитями, что в свою очередь влияет на усилие, которое нужно приложить для прореза или прокола ткани.

6. Нагрузка при прорезании двузаточенным ножом выше, чем однозаточенным, так как при проникновении лезвия, заточенного с двух сторон, сквозь ткань, нити разрезаются. Наличие двух лезвий создает большее сопротивление по сравнению с ножом, у которого одно лезвие, а другая сторона гладкая. В этом случае

лезвие с одной стороны разрезает нити в ткани, а с другой стороны ткань скользит по гладкой поверхности ножа, обеспечивая лучшее проникновение в ткань за счет меньшего трения. В мокром состоянии все образцы снижают прочность при воздействии ножами и пикой.

7. 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.

8. На начальном этапе при испытании ткани на прокол в один слой практически не наблюдается различий в результатах испытаний, так как пика имеет острый наконечник, гладкую поверхность и малый диаметр в поперечнике, что позволяет ей легко проникать сквозь материал, независимо от его структурных характеристик. При увеличении количества слоев происходит увеличение усилия прокола. Данная зависимость определяется логарифмической функцией.

9. На усилие прокола влияет скорость движения индентора, так как при возникновении ситуации с применением холодного оружия скорость нанесения повреждений может быть различной. Данная зависимость определяется степенной функцией.

10. Необходимо отметить, что при общем условии увеличения прочности при повышении количества слоев и изменения влажности скорость движения индентора увеличивает усилие прокола. При скорости 100мм/мин практически все образцы имеют не большую разницу в усилиях прокола. Наибольшие различия наблюдаются при скорости 500 мм/мин.

11. При анализе зависимости усилия прокола тканей от влажности можно сделать вывод, что изменение данного показателя у всех полотен происходит с одинаковой интенсивностью и кривые накладываются одна на другую.

12. В зависимости от увеличения влажности величина усилия прокола тканей снижается, так как нити становятся более гладкими, что позволяет индентору в виде пики с меньшим усилием прокалывать ткань. При проколе индентор практически не повреждает нити, так как наличие у индентора в виде пики зато-

ченного 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. Данная зависимость определяется полиномом второго порядка.

13. С увеличением количества слоев нагрузка при прорезании увеличивается, а с увеличением влажности – уменьшается. С увеличением скорости движения индентора нагрузка при прорезании увеличивается.

14. Геометрия насадок оказывает существенное влияние на антироковые и антипрорезные характеристики, а также стрелу прогиба образцов. Все ткани имеют низкую прочность при прорезании, так как ножи имеют плоскую форму и легко проникают сквозь образец. Стрела прогиба имеет наибольшее значение только в начальный период разрушения. При проведении испытаний выявлено, что при прорезании ножом сначала происходит растяжение и раздвигаемость нитей, образующих ткань, а затем их разрушение, что приводит к увеличению площади поверхности образца, в то время как при прокалывании тканей пикой наблюдается только раздвигаемость нитей.

15. Диапазон скоростей оказывает существенное влияние на стойкость тканей к механическим воздействиям. Однако при прочих равных условиях нагрузка при прорезании индентором в виде ножа имеет более высокие значения, чем у индентора в виде пикки. Это связано с геометрией строения инденторов. Наличие одного режущего лезвия у ножа и большей площадью поперечного сечения по сравнению с пиккой приводит к увеличению нагрузки при прорезании. Механика проникновения ножа существенно отличается от механики проникновения в виде пикки. 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 пикки, которая только раздвигает нити без разрушения.

16. Установлено, что усилие прокола снижается при увеличении влажности тканей. Аналогичное действие влажность оказывает и на нагрузку при прорезании.

17. Структурные характеристики 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.

18. Наилучшими характеристиками обладает ткань арт. 86294 полотняного переплетения, а наихудшими – арт. 86136 атласного переплетения.

19. Для обеспечения безопасности необходимо использовать комплексный подход при формировании оптимального бронепакета, защищающего как от прокола, так и от прорезания, также данный пакет необходимо 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.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ХОЛОДНОГО ОРУЖИЯ

3.1. Исследование влияния количества слоев на нагрузку при прорезании однозаточенным ножом баллистических тканей

Баллистические ткани применяются для изготовления таких средств индивидуальной защиты, как бронежилеты. Они должны обеспечивать защиту человека при возникновении угрозы для жизни и здоровья. Для обеспечения безопасности человека в бронежилете используются ткани различной структуры, количество их слоев также может варьироваться.

Для обеспечения защиты жизни и здоровья человека от воздействия предметов, являющихся режущим холодным оружием или по своим свойствам имитирующих его, необходимо, чтобы ткань обладала хорошим антипрорезным свойством.

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.).

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 предположительно должны лучше противодействовать усилию прокола и прореза.

Инденатор, который имитирует однозаточенный нож, как говорилось выше, по механике проникновения в ткань существенно отличен от инденатора, имитирующего пику.

Наличие у ножа большей площади поверхности в силу особенности конструкции и режущего лезвия, необходимо, чтобы баллистическая ткань имела свободу в пространственной ориентации нитей, для наилучшего торможения од-

нозаточенного ножа и препятствию проникновения его острой части за бронепакет, тем самым уменьшая возможность нанесения проникающего ранения.

Нож при проникновении в ткань, должен опутываться нитями, данный процесс должен начинаться с конца лезвия и до его основания, обеспечивая торможение.

В работе исследовалось влияние вида нитей, переплетения и количества слоев на прочность при прорезании баллистических тканей. В таблице 3.1 приведены структурные характеристики исследуемых образцов.

Таблица 3.1 – Структурные характеристики исследуемых тканей

Наименование показателя	Номер ткани				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
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 основе, 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 ²	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

Испытания проводились на испытательной системе Инстрон серии 4411. Для прорезания образцов использовалась насадка в виде ножа с одним острым краем. Скорость движения насадки составила 500 мм/мин.

В таблице 3.2 и на рисунках 3.1, 3.2 приведены результаты определения нагрузки при прорезании исследуемых тканей баллистического назначения.

Таблица 3.2 – Результаты определения нагрузки при прорезании исследуемых тканей баллистического назначения

Количество слоев	Ткань 1		Ткань 2		Ткань 3		Ткань 4		Ткань 5	
	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм	Нагрузка при прорезании, Н	Стрела прогиба, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,4	7,87	8,3	8,79	5,6	8,44	11,2	8,71	5,2	8,68
2	4,4	7,58	16,5	8,04	13,6	8,04	21,0	8,58	9,8	8,50
4	7,4	6,87	34,0	7,17	23,2	7,91	35,3	8,45	18,4	8,22
8	40,0	6,66	89,4	6,51	42,0	7,86	79,3	8,34	32,0	8,06

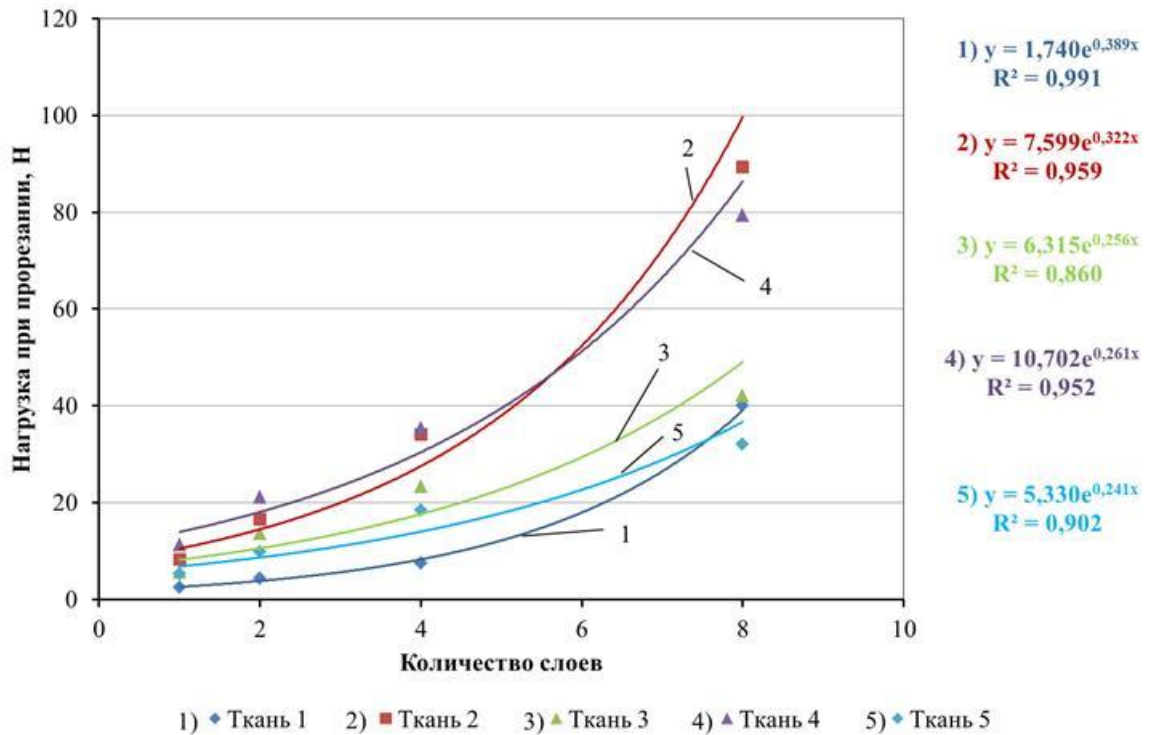


Рисунок 3.1 – Зависимость нагрузки при прорезании исследуемых тканей баллистического назначения от количества слоев

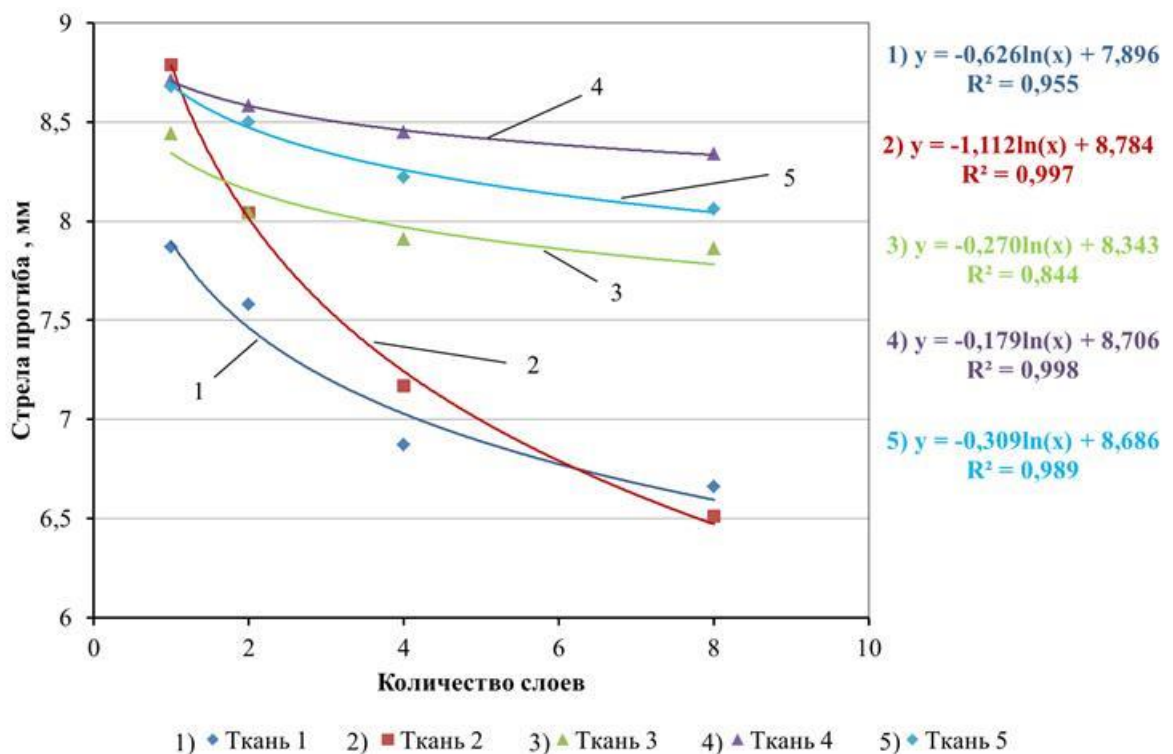


Рисунок 3.2 – Зависимость стрелы прогиба исследуемых тканей баллистического назначения от количества слоев

По таблице 3.2 можно сделать следующие выводы. С увеличением количества слоев максимальное увеличение нагрузки при прорезании составляет 16,6 раз, а стрела прогиба снижается в 1,15 раз.

Наибольшее увеличение прочности наблюдается у ткани № 2, выработанного из пряжи линейной плотности 60 текс.

Можно отметить, что во время прорезания ножом пряжа опутывает лезвие насадки, что становится препятствием для проникновения. 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 его, но и снижают остроту режущей поверхности.

Данное полотно также обладает минимальной стрелой прогиба на максимум приложенной силы.

Из рисунка 3.1 видно, что зависимость нагрузки при прорезании от количества слоев баллистической ткани определяется степенным законом следующего вида

$$y=ax^b, \quad (3.1)$$

где y – нагрузка при прорезании, кН;

x – количество слоев ткани

a, b – расчетные коэффициенты.

Из рисунка 3.2 видно, что зависимость стрелы прогиба от количества слоев баллистической ткани определяется логарифмическим законом следующего вида

$$y=a \ln(x) +b, \quad (3.2)$$

где y – стрела прогиба, мм;

x – количество слоев ткани

a, b – расчетные коэффициенты.

3.2. Исследование влияния обработки баллистических тканей спиртовым раствором канифоли на усилие прокола

Баллистические ткани должны обеспечивать защиту человека от различных видов холодного оружия. Баллистические ткани представляют собой подвижную структуру из гладких нитей, и для ее упрочнения целесообразно проводить обработку различными составами.

Для обеспечения защиты жизни и здоровья человека от воздействия предметов, являющихся колющим холодным оружием или по своим свойствам имитирующие его, необходимо, чтобы ткань обладала хорошим антипрокольным свойством.

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.).

В ходе экспериментов, где в качестве индентора использовалась насадка в виде пики, было установлено, что механика проникновения индентора в ткань, сводится в большей степени не к повреждению нитей в ткани, а к их раздвижке, именно это существенно снижает нагрузку при проколе.

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 повреждения 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 на его дальнейшее торможение.

Исходя из анализа конструкции индентора, выполненного в виде пики и поведения ткани при нарушении ее целостности индентером, можно предположить, что для улучшения прочностных свойств бронепакета, в частности антипроколь-

ной характеристики, необходимо использовать ткань с наибольшей плотностью нитей как по основе так и по утку на единицу длины.

Улучшение антипрокольной характеристики, возможно и с обработкой поверхности ткани, для создания слоя, который при высыхании улучшает ее прочностные свойства.

В работе исследовалось влияние обработки антипрокольного материала спиртовым раствором канифоли на усилие прокола. В таблице 3.3 приведены структурные характеристики исследуемых образцов.

Таблица 3.3 – Структурные характеристики исследуемых образцов

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

Испытания проводились на испытательной системе Инстрон серии 4411. Для прокалывания образцов использовалась насадка в виде пики. Скорость движения насадки составила 500 мм/мин. Образцы обрабатывались 15-% спиртовым раствором канифоли.

Для получения раствора канифоль измельчалась до порошкового состояния, затем измельченная канифоль засыпалась в колбу с заранее приготовленным техническим спиртом. Далее полученная взвесь смешивалась до состояния полного растворения канифоли. Затем полученным раствором заливались образцы до состояния полного намокания. После этого образцы отжимались и высушивались 24 часа в нормальных условиях.

В таблице 3.4 приведены результаты прокола ткани, выработанной из комплексных нитей линейной плотности 29,4 текс полотняным переплетением в исходном и обработанном состоянии.

Таблица 3.4 – Результаты прокола ткани, выработанной из комплексных нитей линейной плотности 29,4 текс полотняным переплетением в исходном и обработанном состоянии

Наименование показателей	Количество слоев			
	1	2	4	8
1	2	3	4	5
Ткань, выработанная из комплексных нитей линейной плотности 29,4 текс, в исходном состоянии				
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 29,4 текс, в обработанном состоянии				
Усилие прокола, Н	22,4	58	109,3	218,8
Стрела прогиба, мм	4,34	3,72	3,44	3,12

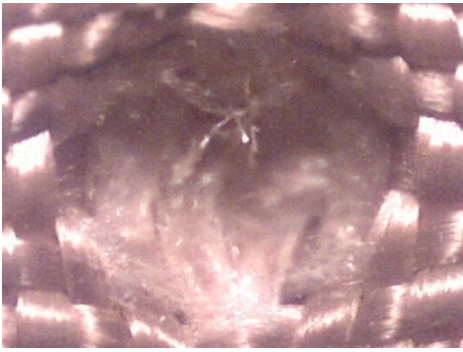
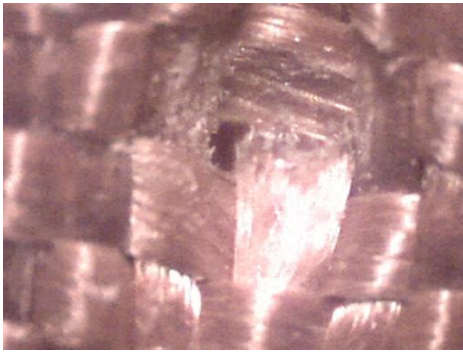



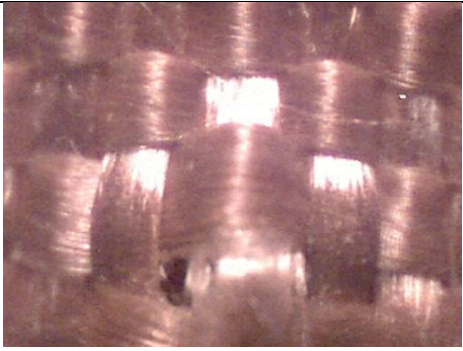

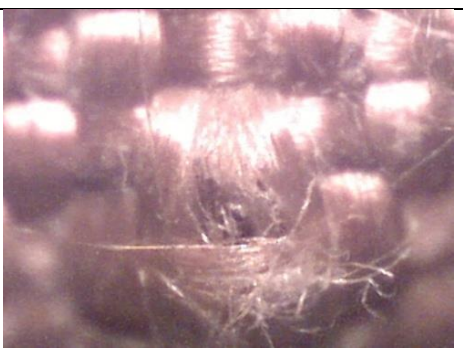
В таблице 3.5 приведены результаты прокола ткани, выработанной из комплексных нитей линейной плотности 58 текс полотняным переплетением в исходном и обработанном состоянии.

Таблица 3.5 – Результаты прокола ткани, выработанной из комплексных нитей линейной плотности 58,8 текс полотняным переплетением в исходном и обработанном состоянии

Наименование показателей	Количество слоев			
	1	2	4	8
Ткань, выработанная из комплексных нитей линейной плотности 58,8 текс, в исходном состоянии				
Усилие прокола, Н	17,3	43,6	95,7	155,61
Стрела прогиба, мм	3,93	3,75	2,88	2,72
Ткань, выработанная из комплексных нитей линейной плотности 58,8 текс, в обработанном состоянии				
Усилие прокола, Н	30,7	47,5	98,7	159,1
Стрела прогиба, мм	3,52	3,33	3,17	2,91

Можно отметить, что в исходном состоянии при проколе ткани раздается сильный хлопок, в то время как после обработки ткань становится более жесткой, но хлопок не раздается, то есть происходит стягивание поверхности и она становится более гладкой, как бы восковой. Следовательно, происходит выравнивание поверхности (таблица 3.6).

Таблица 3.6 –Ткани после прокола при увеличении в 60 раз

Вид образца	Ткань из нитей 29,4 текс	Ткань из нитей 58,8 текс
1	2	3
Место входа пики в необработанную ткань		
Место входа пики в обработанную ткань		
Место выхода пики из необработанной ткани		
Место выхода пики из обработанной ткани		



Отверстие от прокола у обработанной ткани имеет более четкий контур и меньший диаметр, чем у необработанной. Структура необработанной ткани явля-

ется более подвижной и как, следствие этого, у данной ткани антипрокольные свойства хуже, чем у обработанной.

Обработка спиртовым раствором канифоли приводит к увеличению усилия прокола, а увеличение плотности тканей приводит к улучшению антипрокольных свойств.

В таблице 3.7 приведены фотографии ткани после прокола, полученные при увеличении в 10 раз.

Таблица 3.7 –Ткани после прокола при увеличении в 10 раз

Место входа пики в ткань при увеличении в 10 раз (слева необработанный образец)	Место выхода пики из ткани при увеличении в 10 раз (слева необработанный образец)
	


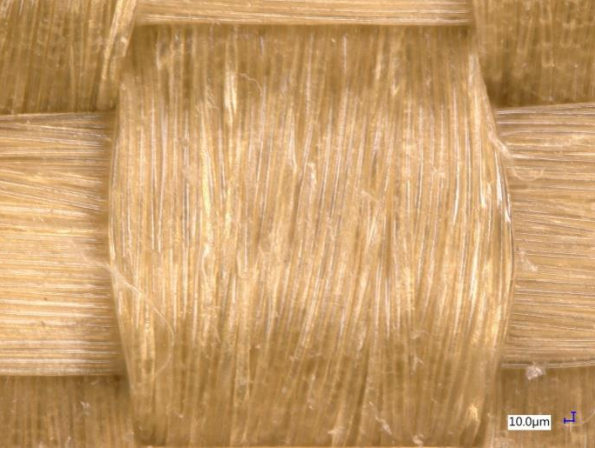
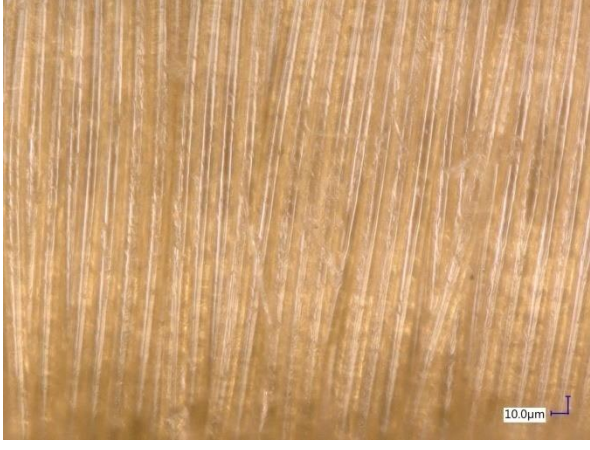

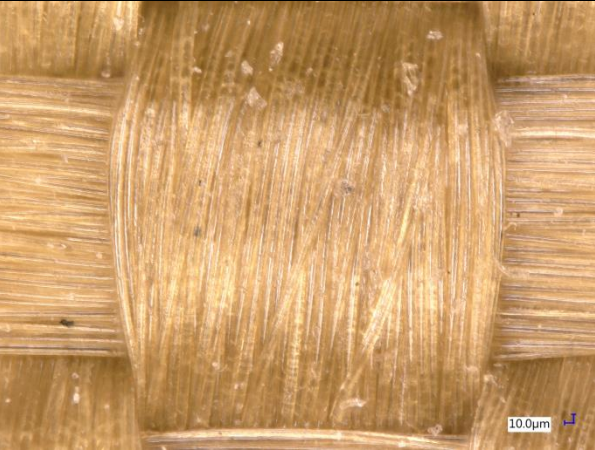
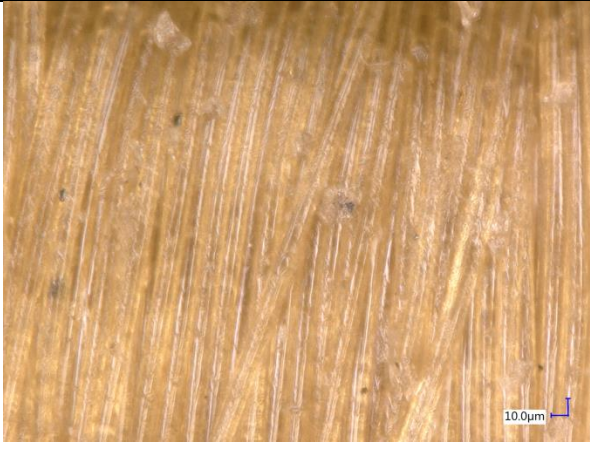
Детальное изучение поверхности ткани, обработанной спиртовым раствором канифоли проводилось на микроскопе KeyenceVHX (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 - Микроскоп KeyenceVHX

В таблице 3.7 приведены фотографии ткани до и после обработки спиртовым раствором канифоли.

Таблица 3.7 – Фотографии ткани до и после обработки спиртовым раствором канифоли

Вид ткани	Увеличение микроскопа		
	100	500	1000
Необработанная ткань			
Обработанная ткань			

Как видно из фотографий, спиртовой раствор канифоли лучше закрепляется на текстильной поверхности. Однако частицы канифоли все равно видны на поверхности.

На рисунке 3.4 приведены графики зависимости усилия прокола от количества слоев обработанной и необработанной ткани.

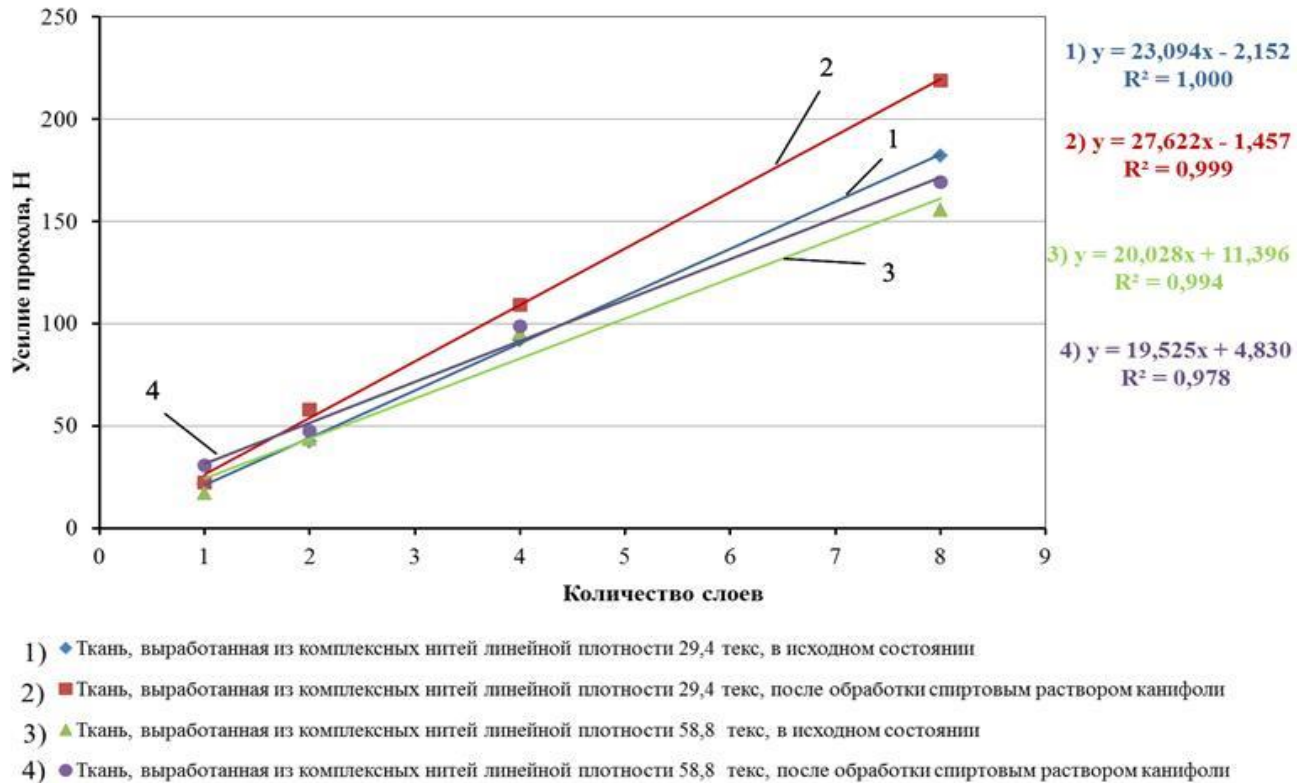


Рисунок 3.4 – Зависимость усилия прокола от количества слоев обработанной и необработанной ткани

У пакета ткани в 8 слоев, выработанной из нитей 29,4 текс, прочность после обработки канифолью значительно превышает усилие прокола ткани без обработки. Таким образом, можно сделать вывод, что низкая линейная плотность нитей в совокупности с высокой плотностью ткани приводит к уменьшению веса изделия без потери прочности, что позволяет улучшить качественные характеристики бронепакетов. При этом обработка спиртовым раствором канифоли также благоприятно сказывается на показателях безопасности бронезилетов.

На основании экспериментальных данных, полученных при испытаниях пакетов тканей с разным количеством слоев установлено, что с увеличением коли-

чества 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 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты определения усилия прокола при увеличенном количестве слоев

Слои	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	более 793 (деформация индентора)	4,0	601,0	2,2

На рисунке 3.5 приведена фотография деформированного индентора.



Рисунок 3.5 – Фотография деформированного индентора

Из полученных результатов, приведенных в таблице 3.8, 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 дальней-

шее увеличение количества слоев не целесообразно. Учитывая вышесказанное, дальнейшие исследования проводились только на этом образце.

3.3. Исследование влияния концентрации спиртового раствора канифоли на усилие прокола баллистических тканей

Ткань, выработанная из нитей 29,4 текс, показала наилучшие прочностные свойства к воздействию прокола, следовательно, дальнейшие исследования проводились с использованием данной ткани.

Антипрокольный материал по своим характеристикам наилучшим образом подходит для обработки раствором, имея наибольшую плотность нитей на единицу длины. Спиртовой раствор канифоли хорошо закрепляется на поверхности ткани, образуя при высыхании слой, который покрывает всю площадь обработанной поверхности.

Ткань после обработки раствором становится более жесткой, это связано с образовавшимся на ее поверхности слоем. При замачивании ткани раствор пропитывает всю структуру ткани, увеличивая тем самым силу трения между нитями, что дополнительно увеличивает нагрузку при прокалывании.

Исследования влияния обработки антипрокольного материала спиртовым раствором канифоли различной концентрации на усилие прокола проводились на испытательной системе Инстрон серии 4411. Для прокалывания образцов использовалась насадка в виде пики. Скорость движения насадки составила 500 мм/мин.

Образцы ткани 1 обрабатывались спиртовым раствором канифоли различной концентрации от 1 до 20%. Для получения раствора канифоль измельчалась до порошкового состояния, затем измельченная канифоль засыпалась в колбу с заранее приготовленным техническим спиртом. Далее полученная взвесь смешивалась до состояния полного растворения канифоли. Затем полученным раствором заливались образцы до состояния полного намокания. После этого образцы отжимались и высушивались 24 часа в нормальных условиях [13, 14]. Изменение массы образца после обработки раствором канифоли представлено в таблице 3.9.

Таблица 3.9 –Изменение массы образца после обработки спиртовым раствором канифоли

Образец	Масса образца до обработки, г	Масса образца после обработки, г	Разница в массе до и после обработки, г
1	2	3	4
1% спиртового раствора канифоли			
1	3,65	3,75	0,10
2	3,59	3,69	0,10
3	3,71	3,71	0,10
5% спиртового раствора канифоли			
1	3,75	3,85	0,10
2	4,05	4,15	0,10
3	3,90	4,00	0,10
10% спиртового раствора канифоли			
1	3,30	3,40	0,10
2	3,30	3,40	0,10
3	3,25	3,35	0,10
15 % спиртового раствора канифоли			
1	3,57	3,67	0,10
2	3,52	3,62	0,10
3	3,64	3,74	0,10
20 % спиртового раствора канифоли			
1	3,35	3,60	0,25
2	4,00	4,25	0,25
3	3,15	3,45	0,30

Можно отметить, что независимо от концентрации канифоли масса образцов, в основном, изменяется на 0,10 г. Исключение составляет концентрация 20%. Данная характеристика свидетельствует о том, что увеличение массы при поверхностной обработке спиртовым раствором канифоли является незначительным, что не скажется на весе бронежилета. Однако с увеличением концентрации раствора канифоли происходит значительное увеличение жесткости ткани, особенно это видно при концентрации в 20%.

Использование для обработки ткани 20% спиртового 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.

Увеличение прочности при концентрации в 20% по сравнению с 15% спиртового раствором происходит незначительное, а эргономические показатели становятся значительно хуже.

Поэтому дальнейшее увеличение концентрации спиртового раствора канифоли выше 15% не целесообразно.

Испытания по определению усилия прокола проводились для 1 слоя ткани и пакетов тканей, состоящих из 2 и 4 слоев однородной ткани, обработанной раствором с различным содержанием канифоли [13, 14].

Результаты приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты определения усилия прокола ткани после обработки спиртовым раствором канифоли различной концентрации

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

На рисунке 3.6 приведены графики зависимости усилия прокола ткани от концентрации спиртового раствора канифоли для различного количества слоев.

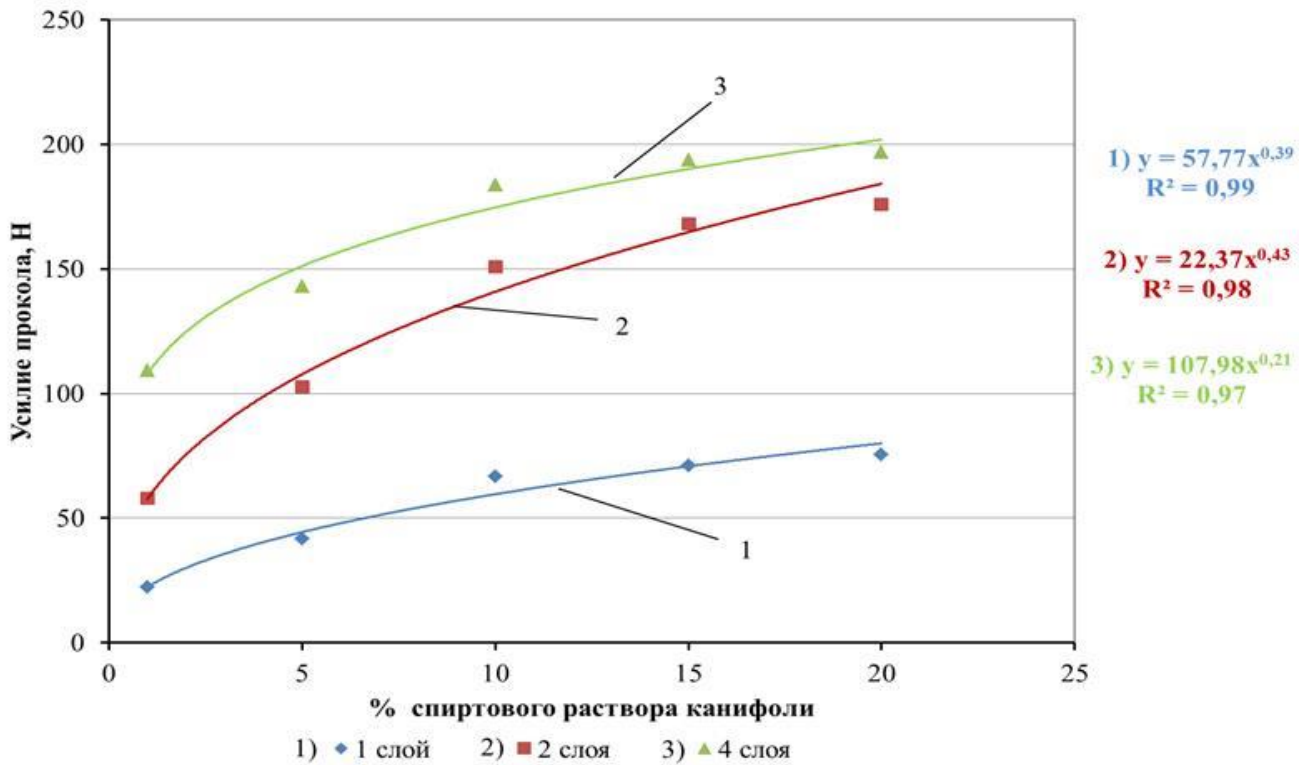


Рисунок 3.6 – Зависимость усилия прокола ткани от концентрации спиртового раствора канифоли для различного количества слоев

Из рисунка 3.6 видно, что зависимость усилия прокола ткани от концентрации спиртового раствора канифоли определяется показательной функцией. Также можно отметить, что с увеличением концентрации раствора канифоли усилие прокола увеличивается, причем для ткани в 1 слой кривая является более полой и увеличение усилия прокола ткани, обработанной 20% спиртового раствора канифоли, составляет 3,5 раза по сравнению с необработанным образцом.

Для 2 слоев ткани разность между величиной усилия прокола при концентрации 1% и 20% достаточно большая и составляет 3,3 раза, а кривая имеет высокую степень изгиба.

При увеличении количества слоев с 2 до 4 увеличение усилия прокола составляет 2,1 раза, что показывает снижение интенсивности изменения усилия прокола.

На рисунке 3.7 приведены графики зависимости усилия прокола от количества слоев пакетов ткани при различных концентрациях спиртового раствора канифоли.

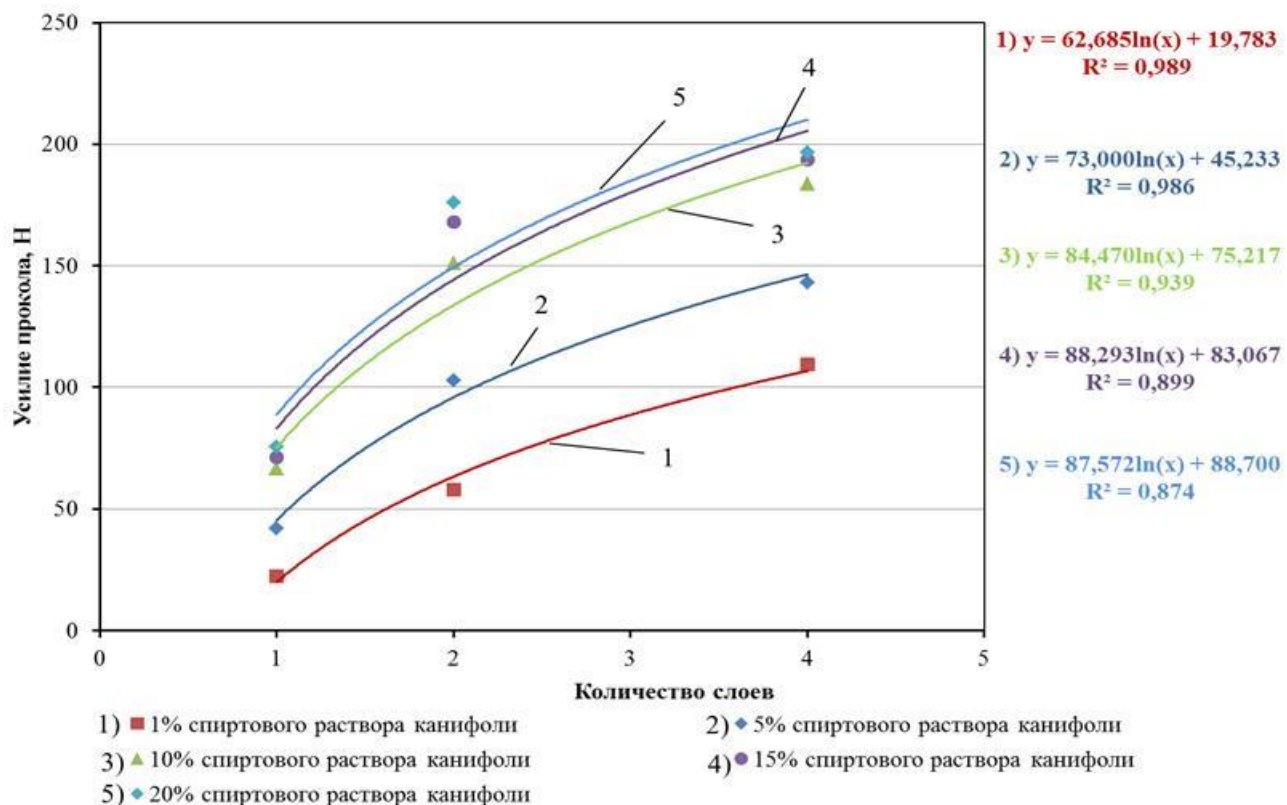


Рисунок 3.7 – Зависимость усилия прокола от количества слоев пакетов ткани при различных концентрациях спиртового раствора канифоли

Из рисунка 3.7 видно, что зависимость усилия прокола от количества слоев пакетов ткани при различных концентрациях спиртового раствора канифоли определяется логарифмической функцией.

Как видно из представленных графиков, при увеличении концентрации спиртового раствора канифоли наблюдается повышение усилия прокола, причем при концентрации 1,5 и 10% эти изменения значительны, тогда как при 15 и 20% такого резкого изменения не наблюдается.

Из вышеприведенных результатов видно, что увеличение усилия прокола в связи с увеличением концентрации спиртового раствора канифоли после 15% происходит не значительно. Так как 15 % спиртовой раствор канифоли дает увеличение усилия прокола в 3 раза, следовательно, данную концентрацию целесообразно использовать при производстве бронепакетов, так как при данной концентрации есть оптимальное сочетание жесткости и стойкости к проколу.

3.4. Разработка метода оценки ударной нагрузки на ткани баллистического назначения

Для имитации ударного воздействия была разработана установка, представленная на рисунке 3.8.

Установка для определения ударной нагрузки состоит из основания, двух направляющих и перекладины с закрепленной на ней насадкой в виде ножа (рисунок 3.9) или пики. Образец ткани закрепляется на столике, имеющем площадку с отверстием диаметром 50 мм.

Перекладина располагается на высоте 1м и к ней сверху прикрепляется груз массой 5 кг. При снятии фиксатора перекладина с грузом и насадкой под действием силы тяжести перемещается вдоль направляющих, создавая ударную нагрузку на образец.

При данных условиях энергия удара составляет 50 Дж, что соответствует норме, указанной в ГОСТ Р 50744-95. По стандарту наконечник лезвия должен выходить за бронежилет не более, чем на 5 мм.

Для испытаний был сформирован пакет из 20 слоев ткани, а также пакет из 20 слоев, скрепленных клейким материалом на текстильной основе. Фотографии результатов пробития ножом ткани приведены в таблице 3.11.

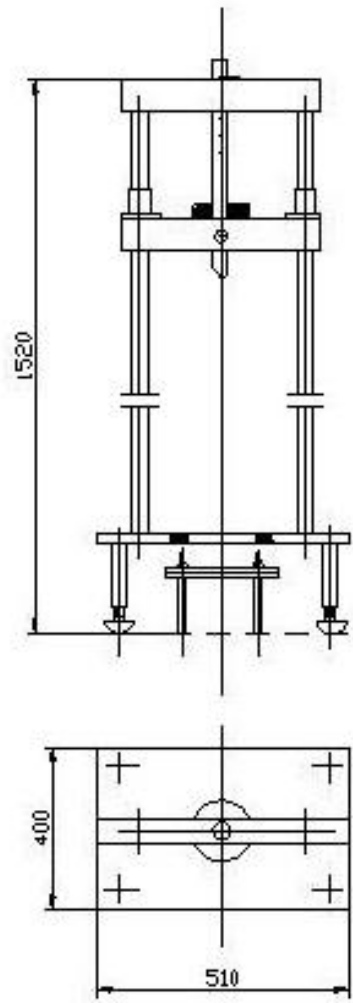


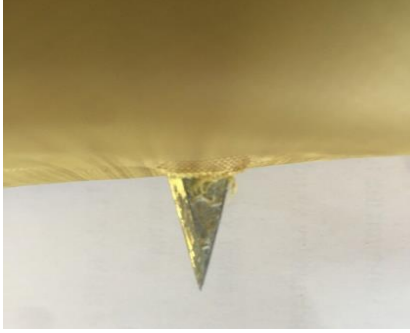







Рисунок 3.8 – Установка для определения ударной нагрузки
баллистических тканей







Рисунок 3.9 – Насадка для пробития бронепакета

Таблица 3.11 – Результаты испытания на ударную нагрузку

Фотографии тканей		Комментарии
1		2
Бронепакет из 20 слоев		
		Место входа и выхода индентора в виде однозаточенного ножа
		Пробитие произошло от 12 до 18 мм
Бронепакет из 35 слоев, в котором антипрокольная ткань была обработана 15% спиртовым раствором канифоли		
		Вид бронепакета после испытания с индентором в виде однозаточенного ножа
		Место входа индентора в виде однозаточенного ножа в бронепакет

Продолжение таблицы 3.11

1		2
		Место входа индентора в виде пикки в бронепакет
		Инденторы после испытаний

Пробитие ножом 20 слоев антипрокольной и антипрорезной ткани в различных сочетаниях произошло от 12 до 18 мм не зависимо от вариантов расположения ткани 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.

Холодное оружие, и предметы его имитирующие, не являются менее опасными средствами поражения, чем огнестрельное оружие, проникающая способность первых в некоторых случаях выше, что угрожает человеку причинением вреда здоровью различной степени тяжести или смерти.

Проведенный анализ нормативной документации зарубежных стран в области защиты от холодного оружия показал, что в качестве основного средства поражения выбирают нож, отечественный ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования» при выборе средства поражения не

является исключением, однако в зарубежных аналогах помимо ножа, в качестве средства поражения используются и другие виды инденторов (заточка, игла, пика).

Дифференцированный подход при выборе средств поражения позволит максимально оценить стойкость бронепакета к различным средствам воздействия, применение инденторов с иной геометрической формой ударной поверхности, а также механикой проникновения в ткань отличной от традиционного ножа позволяет имитировать условия эксплуатации бронезилета наиболее приближенными к реальным.

Российский ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования» в сравнении со своими зарубежными аналогами является довольно жестким по требованиям применяемым к бронезилету (энергия удара 50 Дж, проникание индентора за тыльную часть бронезилета не более 5мм), но отсутствие в нем других средств поражения, которые имеют иные характеристики и по проникающей способности лучше, чем нож, выбранный за эталонный, снижает при условии реальной эксплуатации безопасность бронезилета.

Для решения данного вопроса необходимо внести изменения в отечественный стандарт в части защиты от холодного оружия, добавив средства поражения которые по форме ударной поверхности и механике проникновения будет отлично от ножа, такие как, например, пика, что улучшит показатели безопасности бронезилета.

Выводы по главе

1. Баллистические ткани должны обеспечивать защиту человека от различных видов холодного оружия. Они представляют собой подвижную структуру из гладких нитей, и для ее упрочнения целесообразно проводить обработку различными составами. В работе проведено исследование влияния поверхностной обработки тканей спиртовым раствором канифоли.

2. По результатам исследования нагрузки при прорезании однозаточенным ножом выявлено, что во время прорезания пряжа обкручивает лезвие насадки и препятствует проникновению индентора. Это связано с тем, что пряжа имеет шероховатую поверхность из-за крутки и выступающих концов волокон.

3. Для улучшения антипрокольных свойств целесообразно провести обработку тканей спиртовым раствором канифоли. При этом происходит стягивание поверхности и она становится более гладкой, как бы восковой, то есть поверхность выравнивается. Отверстие от прокола у обработанной ткани имеет более четкий контур и меньший диаметр, чем у необработанной. Нити у необработанной ткани больше подвержены разрушению при проколе и являются более подвижными. Обработка спиртовым раствором канифоли приводит к увеличению прочности при прокалывании образцов.

4. При увеличении количества слоев линейная плотность пряжи не оказывает влияние на усилие прокола тканей. Низкая линейная плотность нитей в совокупности с высокой плотностью ткани приводит к уменьшению веса изделия без потери прочности, что позволяет улучшить качественные характеристики бронепакетов. При этом обработка спиртовым раствором канифоли также благоприятно сказывается на показателях безопасности бронежилетов.

5. Увеличение массы при поверхностной обработке спиртовым раствором канифоли является незначительным, что не скажется на весе бронежилета. Однако с увеличением концентрации раствора канифоли происходит увеличение жесткости ткани, особенно это видно при концентрации 20%. Следовательно, это отрицательно скажется на эргономике бронежилета. Поэтому дальнейшее увеличение концентрации раствора канифоли выше 15 % не целесообразно.

6. При увеличении концентрации спиртового раствора канифоли наблюдается повышение усилия прокола, причем при концентрации 1, 5 и 10% эти изменения значительны, тогда как при 15 и 20% такого резкого изменения не наблюдается.

7. При увеличении концентрации спиртового раствора канифоли происходит увеличение усилия прокола более, чем в 3 раза. Из вышеприведенных резуль-

татов видно, что увеличение усилия прокола в связи с увеличением концентрации спиртового раствора канифоли после 15% происходит не значительно. Так как 15 % спиртовой раствор канифоли дает увеличение усилия прокола в 3 раза, следовательно, данную концентрацию целесообразно использовать при производстве бронепакетов, так как при данной концентрации есть оптимальное сочетание жесткости и стойкости к проколу.

8. Пробитие ножом 20 слоев антипрокольной и антипрорезной ткани в различных сочетаниях произошло от 12 до 18 мм не зависимо от вариантов, расположения ткани в бронепакете, пробитие пикой составило от 45 до 50 мм. При испытании бронепакета из 35 необработанных слоев пробитие ножом составило 7 – 10 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.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ТКАНЕЙ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

4.1. Прогнозирование усилия прокола тканей баллистического назначения при воздействии различных внешних факторов

Конструкция холодного оружия предполагает наличие поражающих элементов и защитных устройств, в совокупности определяющих его специальное целевое назначение. Источником энергии при использовании холодного оружия является только мускульная сила человека. Непосредственный контакт подразумевает замкнутость условной цепочки: нападающий – оружие – объект поражения. Надежность определяется прочностью всей конструкции и ее элементов, безопасностью для пользователя и удобством целевого использования.

В связи с этим важным является прогнозирование усилия прокола с учетом количества слоев тканей для бронезащиты и их влажности.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы тканей баллистического назначения, представленные в главе 2.

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 [18, 19, 50, 82, 87, 95, 103, 104].

$$Q_{yn} = f(Q_{yn\text{ исх}}, W_{mk}, W_{mk\ 65}, n, d, t, T_o, T_y, \Pi_o, \Pi_y, t_o, t_y, R_o, R_y), \quad (4.1)$$

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

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

W_{mk} – влажность ткани при воздействии водной среды, %;

$W_{mk\ 65}$ – влажность ткани при 65% влажности воздуха (нормальные кондици-

онные 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;

$$K = \frac{t_o \cdot t_y}{R_o \cdot R_y} \cdot \frac{T_y \cdot \Pi_y}{T_o \cdot \Pi_o} \quad (4.2)$$

T_o, T_y – линейная плотность нити основы и утка, текс;

Π_o, Π_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 (4.1) можно выразить через безразмерные комплексы. Тогда соотношение примет вид:

$$\frac{Q_{yn}}{Q_{yn\text{ усx}}} = f(\eta_1, \eta_2), \quad (4.3)$$

где η_1 – безразмерный показатель, характеризующий влияние влажности ткани и скорости движения индентора на усилие прокола;

η_2 – безразмерный показатель, характеризующий структурные характеристики тканей и количество слоев;

В таблице 4.1 приведены исходные и расчетные значения усилия прокола параарамидных тканей.

Таблица 4.1 – Исходные и расчетные значения усилия прокола параарамидных тканей

W_{mk} %	W_{mk} $65, \%$	n	$v, \text{ м/с}$	$t, \text{ с}$	$\frac{W_{mk}vt}{W_{mk}65d}$	$Q_{yn},$ Н	$Q_{yn \text{ исх}},$ Н	$\frac{Q_{yn}}{Q_{yn \text{ исх}}}$	η_l	$T_o,$ текс	$T_y,$ текс	$P_o,$ нитей/ 10см	$P_y,$ нитей/ 10см	t_o	t_y	R_o	R_y	η_2	Q_{yn} расч, Н	От- кло- не- ние, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	1	100	1,19	0,153	14,2	8,2	1,732	1,776	55	55	150	140	1	2	3	3	1,915	14,48	1,98
40	5	2	100	2,20	0,248	23,4	8,2	2,854	2,884	55	55	150	140	1	2	3	3	3,773	23,58	0,76
40	5	4	100	2,64	0,286	27,0	8,2	3,293	3,329	55	55	150	140	1	2	3	3	7,550	27,26	0,97
40	5	6	100	3,51	0,312	31,0	8,2	3,780	3,634	55	55	150	140	1	2	3	3	10,766	29,77	3,96
40	5	8	100	5,15	0,380	35,8	8,2	4,366	4,418	55	55	150	140	1	2	3	3	15,113	36,20	1,13
40	5	1	100	1,00	0,150	14,1	8,2	1,720	1,733	61	60	130	140	4	4	8	8	1,068	14,06	0,25
40	5	2	100	2,52	0,234	22,1	8,2	2,695	2,723	61	60	130	140	4	4	8	8	2,140	22,21	0,51
40	5	4	100	3,43	0,283	26,7	8,2	3,256	3,292	61	60	130	140	4	4	8	8	4,284	26,93	0,85
40	5	6	100	4,06	0,320	30,2	8,2	3,683	3,725	61	60	130	140	4	4	8	8	6,429	30,50	0,98
40	5	8	100	5,64	0,366	34,5	8,2	4,207	4,258	61	60	130	140	4	4	8	8	8,575	34,87	1,06
40	5	1	100	0,88	0,171	14,9	7,8	1,910	1,978	30	30	270	240	1	1	2	2	0,921	15,24	2,31
40	5	2	100	2,37	0,282	25,3	7,8	3,244	3,280	30	30	270	240	1	1	2	2	1,797	25,42	0,49
40	5	4	100	3,31	0,330	29,6	7,8	3,795	3,839	30	30	270	240	1	1	2	2	3,597	29,85	0,85
40	5	6	100	4,42	0,349	33,2	7,8	4,256	4,060	30	30	270	240	1	1	2	2	5,087	31,60	4,82
40	5	8	100	6,05	0,401	36,0	7,8	4,615	4,672	30	30	270	240	1	1	2	2	7,198	36,38	1,06
40	5	1	100	1,08	0,177	14,7	7,6	1,934	2,059	62	60	150	150	1	1	2	2	1,030	15,47	5,26
40	5	2	100	3,06	0,302	25,7	7,6	3,382	3,511	62	60	150	150	1	1	2	2	2,010	26,54	3,26
40	5	4	100	3,98	0,335	29,3	7,6	3,855	3,900	62	60	150	150	1	1	2	2	3,916	29,56	0,88

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	6	100	5,01	0,375	32,8	7,6	4,316	4,368	62	60	150	150	1	1	2	2	5,876	33,13	1,01
40	5	8	100	6,68	0,404	35,3	7,6	4,645	4,701	62	60	150	150	1	1	2	2	7,836	35,68	1,08
40	5	1	100	0,80	0,149	14,4	8,4	1,714	1,728	34	32	240	210	1	4	5	5	3,320	14,46	0,45
40	5	2	100	2,06	0,259	25,0	8,4	2,976	3,008	34	32	240	210	1	4	5	5	6,659	25,23	0,91
40	5	4	100	3,34	0,300	29,0	8,4	3,452	3,491	34	32	240	210	1	4	5	5	13,325	29,30	1,05
40	5	6	100	4,09	0,345	33,3	8,4	3,964	4,011	34	32	240	210	1	4	5	5	19,997	33,67	1,12
40	5	8	100	6,31	0,390	37,7	8,4	4,488	4,542	34	32	240	210	1	4	5	5	26,672	38,14	1,17
40	5	1	250	0,82	0,160	15,1	8,2	1,841	1,857	55	55	150	140	1	2	3	3	1,882	15,14	0,24
40	5	2	250	2,36	0,252	24,4	8,2	2,976	2,931	55	55	150	140	1	2	3	3	3,677	23,96	1,79
40	5	4	250	3,07	0,292	28,3	8,2	3,451	3,401	55	55	150	140	1	2	3	3	7,358	27,85	1,59
40	5	6	250	3,82	0,335	32,4	8,2	3,951	3,896	55	55	150	140	1	2	3	3	11,043	31,91	1,50
40	5	8	250	5,52	0,384	37,2	8,2	4,537	4,475	55	55	150	140	1	2	3	3	14,729	36,66	1,44
40	5	1	250	1,10	0,158	15,5	8,2	1,890	1,826	61	60	130	140	4	4	8	8	1,023	14,82	4,37
40	5	2	250	2,80	0,253	23,9	8,2	2,915	2,946	61	60	130	140	4	4	8	8	2,141	24,03	0,55
40	5	4	250	3,86	0,316	29,8	8,2	3,634	3,676	61	60	130	140	4	4	8	8	4,286	30,06	0,89
40	5	6	250	4,96	0,353	33,3	8,2	4,061	4,109	61	60	130	140	4	4	8	8	6,431	33,64	1,01
40	5	8	250	6,08	0,383	36,1	8,2	4,402	4,456	61	60	130	140	4	4	8	8	8,576	36,49	1,08
40	5	1	250	1,32	0,180	15,7	7,8	2,013	2,085	30	30	270	240	1	1	2	2	0,921	16,07	2,34
40	5	2	250	2,89	0,273	24,5	7,8	3,141	3,175	30	30	270	240	1	1	2	2	1,797	24,62	0,48
40	5	4	250	3,79	0,323	29,0	7,8	3,718	3,761	30	30	270	240	1	1	2	2	3,597	29,25	0,85
40	5	6	250	4,66	0,358	32,1	7,8	4,115	4,164	30	30	270	240	1	1	2	2	5,397	32,41	0,98
40	5	8	250	6,56	0,399	35,8	7,8	4,590	4,646	30	30	270	240	1	1	2	2	7,198	36,18	1,06
40	5	1	250	1,08	0,173	15,1	7,6	1,987	2,004	62	60	150	150	1	1	2	2	0,976	15,06	0,25
40	5	2	250	2,88	0,269	23,5	7,6	3,092	3,126	62	60	150	150	1	1	2	2	1,957	23,62	0,52

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	4	250	3,94	0,330	28,8	7,6	3,789	3,833	62	60	150	150	1	1	2	2	3,916	29,05	0,88
40	5	6	250	5,15	0,361	33,5	7,6	4,408	4,204	62	60	150	150	1	1	2	2	5,538	31,89	4,80
40	5	8	250	7,40	0,423	38,3	7,6	5,039	4,930	62	60	150	150	1	1	2	2	7,574	37,42	2,31
40	5	1	250	1,13	0,155	15,0	8,4	1,786	1,800	34	32	240	210	1	4	5	5	3,321	15,07	0,47
40	5	2	250	2,94	0,258	24,9	8,4	2,964	2,996	34	32	240	210	1	4	5	5	6,659	25,13	0,91
40	5	4	250	4,32	0,319	30,8	8,4	3,667	3,709	34	32	240	210	1	4	5	5	13,328	31,13	1,07
40	5	6	250	5,74	0,370	35,7	8,4	4,250	4,301	34	32	240	210	1	4	5	5	20,001	36,11	1,14
40	5	8	250	8,01	0,419	40,5	8,4	4,821	4,881	34	32	240	210	1	4	5	5	26,677	40,98	1,19
40	5	1	500	0,82	0,171	16,1	8,2	1,963	1,980	55	55	150	140	1	2	3	3	1,883	16,15	0,28
40	5	2	500	2,34	0,265	25,6	8,2	3,122	3,076	55	55	150	140	1	2	3	3	3,678	25,15	1,77
40	5	4	500	3,20	0,315	30,5	8,2	3,720	3,667	55	55	150	140	1	2	3	3	7,360	30,02	1,57
40	5	6	500	3,76	0,351	34,0	8,2	4,146	4,089	55	55	150	140	1	2	3	3	11,044	33,49	1,49
40	5	8	500	5,60	0,398	38,5	8,2	4,695	4,631	55	55	150	140	1	2	3	3	14,731	37,95	1,43
40	5	1	500	1,05	0,177	16,4	8,2	2,000	2,053	61	60	130	140	4	4	8	8	1,088	16,67	1,63
40	5	2	500	2,91	0,254	24,6	8,2	3,000	2,955	61	60	130	140	4	4	8	8	2,087	24,11	2,01
40	5	4	500	3,77	0,308	29,8	8,2	3,634	3,582	61	60	130	140	4	4	8	8	4,176	29,30	1,69
40	5	6	500	4,33	0,339	32,8	8,2	4,000	3,944	61	60	130	140	4	4	8	8	6,267	32,28	1,57
40	5	8	500	5,97	0,375	36,3	8,2	4,427	4,366	61	60	130	140	4	4	8	8	8,358	35,76	1,50
40	5	1	500	1,15	0,187	16,3	7,8	2,090	2,165	30	30	270	240	1	1	2	2	0,921	16,69	2,36
40	5	2	500	3,09	0,276	24,8	7,8	3,179	3,214	30	30	270	240	1	1	2	2	1,797	24,92	0,48
40	5	4	500	4,12	0,346	31,0	7,8	3,974	4,021	30	30	270	240	1	1	2	2	3,597	31,27	0,87
40	5	6	500	5,67	0,398	35,7	7,8	4,577	4,633	30	30	270	240	1	1	2	2	5,398	36,06	1,01
40	5	8	500	7,34	0,426	39,2	7,8	5,026	4,958	30	30	270	240	1	1	2	2	7,016	38,62	1,49
40	5	1	500	1,20	0,197	16,3	7,6	2,145	2,284	62	60	150	150	1	1	2	2	1,031	17,17	5,32

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	2	500	2,75	0,261	22,8	7,6	3,000	3,032	62	60	150	150	1	1	2	2	1,956	22,92	0,51
40	5	4	500	4,21	0,319	28,4	7,6	3,737	3,715	62	60	150	150	1	1	2	2	3,849	28,16	0,86
40	5	6	500	5,06	0,350	32,2	7,6	4,237	4,074	62	60	150	150	1	1	2	2	5,584	30,91	4,02
40	5	8	500	6,62	0,406	36,7	7,6	4,829	4,724	62	60	150	150	1	1	2	2	7,573	35,85	2,32
40	5	1	500	1,20	0,164	15,8	8,4	1,881	1,897	34	32	240	210	1	4	5	5	3,322	15,88	0,51
40	5	2	500	3,22	0,259	25,0	8,4	2,976	3,008	34	32	240	210	1	4	5	5	6,659	25,23	0,91
40	5	4	500	4,32	0,296	29,6	8,4	3,524	3,444	34	32	240	210	1	4	5	5	12,877	28,90	2,35
40	5	6	500	5,61	0,367	35,5	8,4	4,226	4,277	34	32	240	210	1	4	5	5	20,001	35,90	1,14
40	5	8	500	8,48	0,424	43,8	8,4	5,214	4,935	34	32	240	210	1	4	5	5	24,943	41,44	5,39
65	8	1	100	0,27	0,071	6,7	8,2	0,817	0,817	55	55	150	140	1	2	3	3	1,867	6,66	0,57
65	8	2	100	0,69	0,109	10,3	8,2	1,256	1,263	55	55	150	140	1	2	3	3	3,753	10,32	0,23
65	8	4	100	1,25	0,177	16,7	8,2	2,037	2,055	55	55	150	140	1	2	3	3	7,533	16,82	0,74
65	8	6	100	1,68	0,214	20,2	8,2	2,463	2,488	55	55	150	140	1	2	3	3	11,311	20,38	0,89
65	8	8	100	2,79	0,255	24,0	8,2	2,927	2,958	55	55	150	140	1	2	3	3	15,093	24,24	0,99
65	8	1	100	0,32	0,072	6,9	8,2	0,841	0,827	61	60	130	140	4	4	8	8	1,041	6,71	2,69
65	8	2	100	0,93	0,129	12,1	8,2	1,476	1,499	61	60	130	140	4	4	8	8	2,151	12,23	1,03
65	8	4	100	1,46	0,188	17,6	8,2	2,146	2,185	61	60	130	140	4	4	8	8	4,314	17,87	1,55
65	8	6	100	2,11	0,228	21,5	8,2	2,622	2,649	61	60	130	140	4	4	8	8	6,420	21,68	0,85
65	8	8	100	3,54	0,276	26,0	8,2	3,171	3,206	61	60	130	140	4	4	8	8	8,567	26,25	0,97
65	8	1	100	0,26	0,080	6,8	7,8	0,872	0,921	30	30	270	240	1	1	2	2	0,939	7,10	4,40
65	8	2	100	0,87	0,168	14,3	7,8	1,833	1,951	30	30	270	240	1	1	2	2	1,892	15,12	5,76
65	8	4	100	1,62	0,208	18,7	7,8	2,397	2,421	30	30	270	240	1	1	2	2	3,590	18,82	0,67
65	8	6	100	2,34	0,246	23,2	7,8	2,974	2,857	30	30	270	240	1	1	2	2	5,122	22,24	4,15
65	8	8	100	3,77	0,301	27,0	7,8	3,462	3,501	30	30	270	240	1	1	2	2	7,192	27,26	0,98

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
65	8	1	100	0,23	0,064	5,6	7,6	0,737	0,736	62	60	150	150	1	1	2	2	0,966	5,53	1,27
65	8	2	100	1,00	0,162	14,2	7,6	1,868	1,884	62	60	150	150	1	1	2	2	1,952	14,24	0,27
65	8	4	100	1,60	0,204	17,8	7,6	2,342	2,365	62	60	150	150	1	1	2	2	3,908	17,92	0,68
65	8	6	100	2,42	0,281	24,6	7,6	3,237	3,273	62	60	150	150	1	1	2	2	5,871	24,83	0,92
65	8	8	100	3,61	0,283	26,0	7,6	3,421	3,287	62	60	150	150	1	1	2	2	7,440	24,95	4,04
65	8	1	100	0,19	0,062	6,3	8,4	0,750	0,711	34	32	240	210	1	4	5	5	3,124	5,96	5,47
65	8	2	100	0,82	0,175	16,8	8,4	2,000	2,035	34	32	240	210	1	4	5	5	6,705	17,07	1,60
65	8	4	100	1,62	0,189	18,1	8,4	2,155	2,194	34	32	240	210	1	4	5	5	13,415	18,41	1,73
65	8	6	100	2,58	0,268	25,7	8,4	3,060	3,120	34	32	240	210	1	4	5	5	20,155	26,19	1,92
65	8	8	100	4,24	0,307	29,4	8,4	3,500	3,571	34	32	240	210	1	4	5	5	26,887	29,98	1,98
65	8	1	250	0,28	0,083	7,8	8,2	0,951	0,962	55	55	150	140	1	2	3	3	1,887	7,84	0,52
65	8	2	250	0,54	0,101	9,4	8,2	1,146	1,161	55	55	150	140	1	2	3	3	3,783	9,50	1,03
65	8	4	250	0,82	0,135	12,6	8,2	1,537	1,561	55	55	150	140	1	2	3	3	7,585	12,78	1,44
65	8	6	250	1,16	0,160	15,0	8,2	1,829	1,861	55	55	150	140	1	2	3	3	11,392	15,24	1,61
65	8	8	250	1,97	0,197	18,4	8,2	2,244	2,285	55	55	150	140	1	2	3	3	15,207	18,72	1,76
65	8	1	250	0,32	0,085	8,0	8,2	0,976	0,978	61	60	130	140	4	4	8	8	1,062	7,94	0,78
65	8	2	250	0,62	0,097	9,1	8,2	1,110	1,114	61	60	130	140	4	4	8	8	2,127	9,09	0,12
65	8	4	250	0,85	0,117	11	8,2	1,341	1,349	61	60	130	140	4	4	8	8	4,262	11,04	0,32
65	8	6	250	1,40	0,175	16,5	8,2	2,012	2,030	61	60	130	140	4	4	8	8	6,412	16,62	0,71
65	8	8	250	2,23	0,194	18,3	8,2	2,232	2,253	61	60	130	140	4	4	8	8	8,554	18,45	0,81
65	8	1	250	0,31	0,080	7,2	7,8	0,923	0,925	30	30	270	240	1	1	2	2	0,890	7,13	1,04
65	8	2	250	0,54	0,090	8,1	7,8	1,038	1,042	30	30	270	240	1	1	2	2	1,784	8,08	0,29
65	8	4	250	0,96	0,135	12,1	7,8	1,551	1,562	30	30	270	240	1	1	2	2	3,581	12,15	0,40
65	8	6	250	1,51	0,186	16,7	7,8	2,141	2,161	30	30	270	240	1	1	2	2	5,382	16,82	0,71

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
65	8	8	250	2,31	0,206	18,5	7,8	2,372	2,395	30	30	270	240	1	1	2	2	7,180	18,65	0,82
65	8	1	250	0,24	0,074	6,5	7,6	0,855	0,856	62	60	150	150	1	1	2	2	0,968	6,43	1,04
65	8	2	250	0,50	0,088	7,7	7,6	1,013	1,016	62	60	150	150	1	1	2	2	1,941	7,68	0,27
65	8	4	250	0,90	0,124	10,8	7,6	1,421	1,430	62	60	150	150	1	1	2	2	3,896	10,84	0,35
65	8	6	250	1,27	0,164	14,3	7,6	1,882	1,897	62	60	150	150	1	1	2	2	5,855	14,39	0,65
65	8	8	250	2,24	0,196	17,1	7,6	2,250	2,271	62	60	150	150	1	1	2	2	7,815	17,24	0,80
65	8	1	250	0,30	0,083	8,0	8,4	0,952	0,954	34	32	240	210	1	4	5	5	3,301	7,99	0,11
65	8	2	250	0,68	0,114	11,0	8,4	1,310	1,317	34	32	240	210	1	4	5	5	6,625	11,04	0,40
65	8	4	250	1,22	0,147	14,2	8,4	1,690	1,703	34	32	240	210	1	4	5	5	13,278	14,30	0,68
65	8	6	250	1,69	0,180	17,4	8,4	2,071	2,090	34	32	240	210	1	4	5	5	19,942	17,55	0,84
65	8	8	250	2,80	0,209	20,2	8,4	2,405	2,428	34	32	240	210	1	4	5	5	26,611	20,39	0,94
65	8	1	500	0,30	0,087	8,2	8,2	1,000	1,003	55	55	150	140	1	2	3	3	1,872	8,17	0,31
65	8	2	500	0,56	0,117	11,0	8,2	1,341	1,349	55	55	150	140	1	2	3	3	3,755	11,03	0,29
65	8	4	500	1,02	0,155	14,6	8,2	1,780	1,795	55	55	150	140	1	2	3	3	7,527	14,70	0,66
65	8	6	500	1,12	0,162	15,3	8,2	1,866	1,881	55	55	150	140	1	2	3	3	11,294	15,41	0,74
65	8	8	500	1,42	0,181	17,1	8,2	2,085	2,104	55	55	150	140	1	2	3	3	15,068	17,24	0,83
65	8	1	500	0,30	0,087	8,2	8,2	1,000	1,003	61	60	130	140	4	4	8	8	1,062	8,14	0,75
65	8	2	500	0,70	0,127	12,2	8,2	1,488	1,472	61	60	130	140	4	4	8	8	2,096	12,01	1,57
65	8	4	500	0,80	0,136	13,0	8,2	1,585	1,569	61	60	130	140	4	4	8	8	4,194	12,84	1,27
65	8	6	500	1,01	0,151	14,5	8,2	1,768	1,752	61	60	130	140	4	4	8	8	6,296	14,34	1,11
65	8	8	500	1,43	0,179	17,2	8,2	2,098	2,080	61	60	130	140	4	4	8	8	8,404	17,04	0,96
65	8	1	500	0,30	0,085	7,8	7,8	1,000	0,985	30	30	270	240	1	1	2	2	0,876	7,59	2,65
65	8	2	500	0,59	0,117	10,7	7,8	1,372	1,356	30	30	270	240	1	1	2	2	1,758	10,51	1,74
65	8	4	500	0,99	0,148	13,7	7,8	1,756	1,710	30	30	270	240	1	1	2	2	3,463	13,30	2,91

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
65	8	6	500	1,41	0,175	16,2	7,8	2,077	2,025	30	30	270	240	1	1	2	2	5,199	15,76	2,71
65	8	8	500	1,77	0,195	18,1	7,8	2,321	2,264	30	30	270	240	1	1	2	2	6,937	17,63	2,60
65	8	1	500	0,30	0,084	7,6	7,6	1,000	0,969	62	60	150	150	1	1	2	2	0,937	7,28	4,21
65	8	2	500	0,77	0,130	11,8	7,6	1,553	1,511	62	60	150	150	1	1	2	2	1,883	11,42	3,25
65	8	4	500	1,13	0,157	14,2	7,6	1,868	1,820	62	60	150	150	1	1	2	2	3,771	13,80	2,85
65	8	6	500	1,58	0,185	16,7	7,6	2,197	2,143	62	60	150	150	1	1	2	2	5,663	16,26	2,66
65	8	8	500	1,91	0,213	18,3	7,6	2,408	2,475	62	60	150	150	1	1	2	2	7,957	18,78	2,63
65	8	1	500	0,30	0,088	8,4	8,4	1,000	1,021	34	32	240	210	1	4	5	5	3,362	8,55	1,74
65	8	2	500	0,71	0,133	12,6	8,4	1,500	1,537	34	32	240	210	1	4	5	5	6,751	12,89	2,30
65	8	4	500	1,13	0,165	15,7	8,4	1,869	1,918	34	32	240	210	1	4	5	5	13,523	16,10	2,55
65	8	6	500	1,30	0,177	16,8	8,4	2,000	2,053	34	32	240	210	1	4	5	5	20,293	17,24	2,62
65	8	8	500	1,47	0,188	17,8	8,4	2,119	2,176	34	32	240	210	1	4	5	5	27,067	18,27	2,67
90	9	1	100	0,09	0,039	3,6	8,2	0,439	0,445	56	56	150	140	1	2	3	3	1,894	3,63	0,87
90	9	2	100	0,32	0,084	7,7	8,2	0,939	0,966	56	56	150	140	1	2	3	3	3,842	7,90	2,62
90	9	4	100	0,51	0,087	8,4	8,2	1,024	1,001	56	56	150	140	1	2	3	3	7,297	8,20	2,42
90	9	6	100	0,76	0,095	9,5	8,2	1,159	1,096	56	56	150	140	1	2	3	3	10,597	8,98	5,47
90	9	8	100	1,38	0,130	12,4	8,2	1,512	1,509	56	56	150	140	1	2	3	3	14,905	12,37	0,26
90	9	1	100	0,12	0,039	3,7	8,2	0,451	0,442	62	61	130	140	4	4	8	8	1,038	3,59	3,06
90	9	2	100	0,43	0,082	7,8	8,2	0,951	0,945	62	61	130	140	4	4	8	8	2,105	7,71	1,17
90	9	4	100	0,67	0,093	8,8	8,2	1,073	1,068	62	61	130	140	4	4	8	8	4,216	8,73	0,77
90	9	6	100	0,80	0,099	9,4	8,2	1,146	1,141	62	61	130	140	4	4	8	8	6,329	9,34	0,61
90	9	8	100	1,55	0,129	12,3	8,2	1,500	1,497	62	61	130	140	4	4	8	8	8,460	12,26	0,33
90	9	1	100	0,10	0,038	3,4	7,8	0,436	0,427	31	31	270	240	1	1	2	2	0,870	3,29	3,34
90	9	2	100	0,36	0,081	7,3	7,8	0,936	0,930	31	31	270	240	1	1	2	2	1,766	7,21	1,29

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
90	9	4	100	0,65	0,098	8,9	7,8	1,141	1,136	31	31	270	240	1	1	2	2	3,540	8,83	0,75
90	9	6	100	0,91	0,114	10,3	7,8	1,321	1,316	31	31	270	240	1	1	2	2	5,317	10,25	0,51
90	9	8	100	1,75	0,146	13,2	7,8	1,692	1,691	31	31	270	240	1	1	2	2	7,104	13,17	0,26
90	9	1	100	0,10	0,047	4,1	7,6	0,539	0,531	63	61	150	150	1	1	2	2	0,953	3,99	2,72
90	9	2	100	0,29	0,078	6,9	7,6	0,908	0,901	63	61	150	150	1	1	2	2	1,923	6,81	1,28
90	9	4	100	0,70	0,096	8,5	7,6	1,118	1,113	63	61	150	150	1	1	2	2	3,855	8,44	0,75
90	9	6	100	0,93	0,109	9,6	7,6	1,263	1,259	63	61	150	150	1	1	2	2	5,789	9,55	0,53
90	9	8	100	1,70	0,142	12,5	7,6	1,645	1,643	63	61	150	150	1	1	2	2	7,736	12,47	0,27
90	9	1	100	0,11	0,041	4,1	8,4	0,488	0,471	35	33	240	210	1	4	5	5	3,183	3,94	3,88
90	9	2	100	0,32	0,067	6,8	8,4	0,810	0,775	35	33	240	210	1	4	5	5	6,321	6,50	4,39
90	9	4	100	0,71	0,085	8,6	8,4	1,024	0,984	35	33	240	210	1	4	5	5	12,682	8,26	4,00
90	9	6	100	0,91	0,090	9,1	8,4	1,083	1,042	35	33	240	210	1	4	5	5	19,036	8,74	3,91
90	9	8	100	1,78	0,119	12	8,4	1,429	1,377	35	33	240	210	1	4	5	5	25,452	11,56	3,63
90	9	1	250	0,09	0,046	4,5	8,2	0,549	0,522	56	56	150	140	1	2	3	3	1,775	4,25	5,49
90	9	2	250	0,26	0,076	7,5	8,2	0,915	0,877	56	56	150	140	1	2	3	3	3,582	7,17	4,34
90	9	4	250	0,30	0,081	8,0	8,2	0,976	0,937	56	56	150	140	1	2	3	3	7,169	7,67	4,12
90	9	6	250	0,36	0,088	8,7	8,2	1,061	1,011	56	56	150	140	1	2	3	3	10,675	8,28	4,78
90	9	8	250	0,66	0,122	11,6	8,2	1,415	1,411	56	56	150	140	1	2	3	3	14,897	11,56	0,32
90	9	1	250	0,11	0,052	4,9	8,2	0,598	0,589	62	61	130	140	4	4	8	8	1,045	4,78	2,41
90	9	2	250	0,32	0,086	8,2	8,2	1,000	0,994	62	61	130	140	4	4	8	8	2,106	8,11	1,11
90	9	4	250	0,35	0,090	8,6	8,2	1,049	1,043	62	61	130	140	4	4	8	8	4,215	8,53	0,80
90	9	6	250	0,39	0,095	9,0	8,2	1,098	1,092	62	61	130	140	4	4	8	8	6,326	8,94	0,66
90	9	8	250	0,69	0,125	11,9	8,2	1,451	1,448	62	61	130	140	4	4	8	8	8,457	11,86	0,35
90	9	1	250	0,09	0,048	4,3	7,8	0,551	0,543	31	31	270	240	1	1	2	2	0,875	4,18	2,77

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
90	9	2	250	0,26	0,078	7,1	7,8	0,910	0,904	31	31	270	240	1	1	2	2	1,765	7,01	1,32
90	9	4	250	0,32	0,086	7,8	7,8	1,000	0,994	31	31	270	240	1	1	2	2	3,534	7,73	0,90
90	9	6	250	0,37	0,093	8,4	7,8	1,077	1,071	31	31	270	240	1	1	2	2	5,306	8,34	0,71
90	9	8	250	0,69	0,125	11,3	7,8	1,449	1,445	31	31	270	240	1	1	2	2	7,095	11,26	0,38
90	9	1	250	0,14	0,058	5,1	7,6	0,671	0,663	63	61	150	150	1	1	2	2	0,957	4,98	2,29
90	9	2	250	0,43	0,100	8,8	7,6	1,158	1,153	63	61	150	150	1	1	2	2	1,928	8,71	0,99
90	9	4	250	0,49	0,105	9,3	7,6	1,224	1,219	63	61	150	150	1	1	2	2	3,858	9,24	0,66
90	9	6	250	0,53	0,110	9,7	7,6	1,276	1,272	63	61	150	150	1	1	2	2	5,790	9,65	0,52
90	9	8	250	0,91	0,143	12,6	7,6	1,658	1,656	63	61	150	150	1	1	2	2	7,737	12,57	0,26
90	9	1	250	0,08	0,045	4,4	8,4	0,524	0,515	35	33	240	210	1	4	5	5	3,244	4,31	2,01
90	9	2	250	0,24	0,076	7,4	8,4	0,881	0,874	35	33	240	210	1	4	5	5	6,550	7,33	0,92
90	9	4	250	0,30	0,083	8,1	8,4	0,964	0,958	35	33	240	210	1	4	5	5	13,115	8,04	0,72
90	9	6	250	0,32	0,084	8,4	8,4	1,000	0,969	35	33	240	210	1	4	5	5	19,180	8,13	3,19
90	9	8	250	0,59	0,111	11,3	8,4	1,345	1,285	35	33	240	210	1	4	5	5	25,226	10,79	4,49
90	9	1	500	0,10	0,054	5,1	8,2	0,622	0,619	56	56	150	140	1	2	3	3	1,858	5,05	1,03
90	9	2	500	0,31	0,090	8,5	8,2	1,037	1,040	56	56	150	140	1	2	3	3	3,745	8,50	0,03
90	9	4	500	0,40	0,101	9,5	8,2	1,159	1,164	56	56	150	140	1	2	3	3	7,500	9,53	0,30
90	9	6	500	0,52	0,115	10,8	8,2	1,317	1,325	56	56	150	140	1	2	3	3	11,264	10,85	0,47
90	9	8	500	0,87	0,142	13,7	8,2	1,671	1,640	56	56	150	140	1	2	3	3	14,662	13,44	1,89
90	9	1	500	0,07	0,056	5,4	8,2	0,659	0,639	62	61	130	140	4	4	8	8	1,029	5,19	3,92
90	9	2	500	0,36	0,094	9,1	8,2	1,110	1,086	62	61	130	140	4	4	8	8	2,073	8,86	2,68
90	9	4	500	0,49	0,109	10,5	8,2	1,280	1,254	62	61	130	140	4	4	8	8	4,152	10,26	2,29
90	9	6	500	0,55	0,114	11,0	8,2	1,341	1,315	62	61	130	140	4	4	8	8	6,230	10,76	2,16
90	9	8	500	0,90	0,144	13,9	8,2	1,695	1,664	62	61	130	140	4	4	8	8	8,323	13,63	1,94

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
90	9	1	500	0,14	0,065	5,7	7,8	0,731	0,749	31	31	270	240	1	1	2	2	0,912	5,77	1,31
90	9	2	500	0,44	0,103	9,5	7,8	1,218	1,193	31	31	270	240	1	1	2	2	1,741	9,24	2,69
90	9	4	500	0,57	0,116	10,7	7,8	1,372	1,345	31	31	270	240	1	1	2	2	3,485	10,46	2,28
90	9	6	500	0,68	0,126	11,6	7,8	1,487	1,459	31	31	270	240	1	1	2	2	5,232	11,36	2,11
90	9	8	500	1,09	0,158	14,5	7,8	1,859	1,826	31	31	270	240	1	1	2	2	6,987	14,22	1,90
90	9	1	500	0,13	0,059	5,3	7,6	0,697	0,678	63	61	150	150	1	1	2	2	0,941	5,09	3,91
90	9	2	500	0,41	0,099	8,9	7,6	1,171	1,146	63	61	150	150	1	1	2	2	1,895	8,66	2,68
90	9	4	500	0,52	0,114	10,0	7,6	1,316	1,323	63	61	150	150	1	1	2	2	3,895	10,03	0,28
90	9	6	500	0,68	0,129	11,3	7,6	1,487	1,497	63	61	150	150	1	1	2	2	5,849	11,35	0,48
90	9	8	500	1,11	0,162	14,2	7,6	1,868	1,884	63	61	150	150	1	1	2	2	7,811	14,30	0,69
90	9	1	500	0,09	0,052	5,0	8,4	0,595	0,592	35	33	240	210	1	4	5	5	3,282	4,96	0,87
90	9	2	500	0,29	0,087	8,4	8,4	1,000	1,003	35	33	240	210	1	4	5	5	6,618	8,41	0,11
90	9	4	500	0,52	0,112	11,0	8,4	1,310	1,294	35	33	240	210	1	4	5	5	13,045	10,86	1,25
90	9	6	500	0,56	0,116	11,4	8,4	1,357	1,342	35	33	240	210	1	4	5	5	19,574	11,26	1,20
90	9	8	500	0,91	0,146	14,3	8,4	1,702	1,686	35	33	240	210	1	4	5	5	26,146	14,16	1,00

Для установления степени влияния каждого из указанных параметров найдим зависимости

$$\eta = \eta_1 \eta_2, \quad (4.4)$$

$$\eta_1 = f\left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} d}\right) = 11,670 \left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} d}\right) - 0,012 \quad (4.5)$$

где η_1 - безразмерный показатель, характеризующий влияние влажности ткани и скорости движения индентора на усилие прокола ткани (рисунок 4.1).

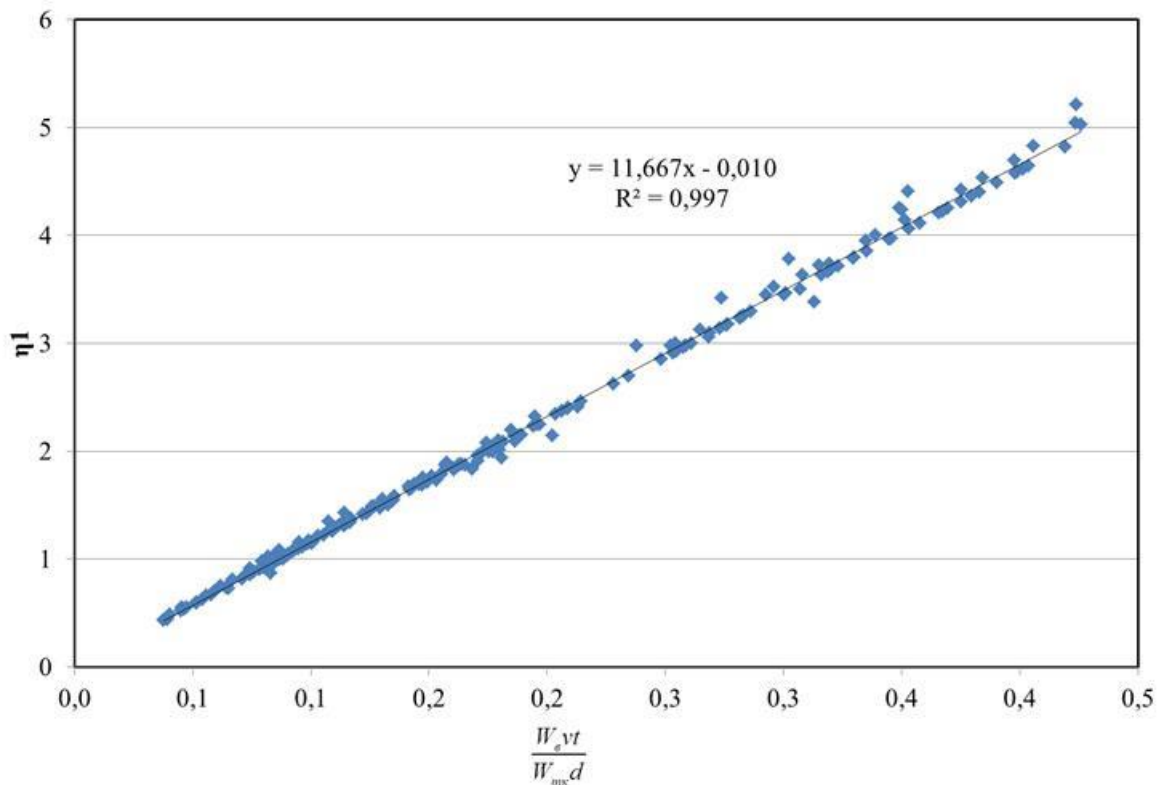


Рисунок 4.1 – Безразмерный показатель, характеризующий влияние влажности ткани и скорости движения индентора на усилие прокола ткани

$$\eta_2 = f(n \cdot K) = \frac{(n \cdot K)}{0,183 \cdot (n \cdot K) + 0,002} \quad (4.6)$$

где η_2 – безразмерный показатель, характеризующий структуру ткани (рисунок 4.2)

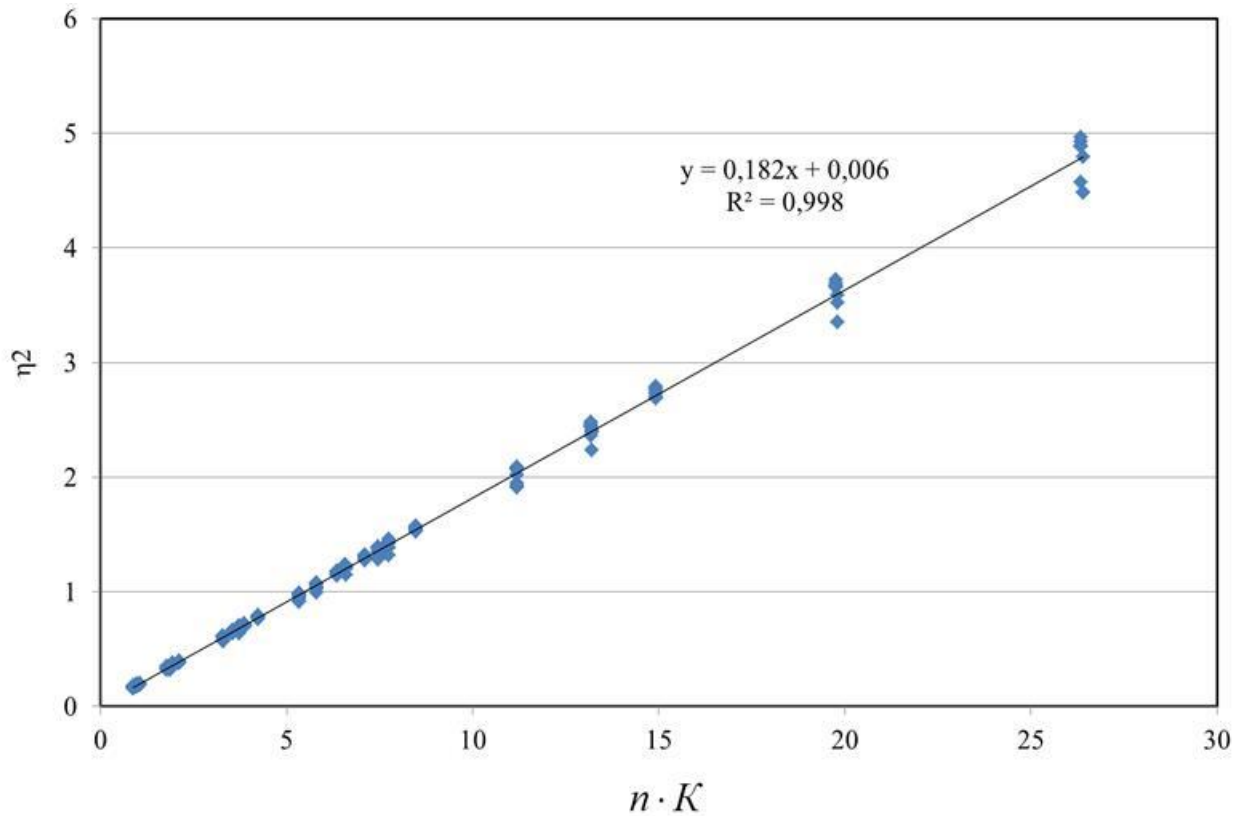


Рисунок 4.2 – Безразмерный показатель, характеризующий структуру ткани

Таким образом, окончательная формула для расчета усилия прокола примет вид:

$$Q_{уп\ расч} = 0,182 \cdot Q_{уп\ исх} \cdot \left(11,670 \left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} 65d} \right) - 0,012 \right) \cdot \left(\frac{(n \cdot K)}{0,183 \cdot (n \cdot K) + 0,002} \right), \quad (4.7)$$

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

Получена математическая модель, позволяющая с высокой степенью точности прогнозировать усилие прокола в зависимости от влажности параарамидных тканей, скорости движения индентора, количества слоев и параметров строения образцов.

4.2. Прогнозирование нагрузки при прорезании однозаточенным ножом тканей, применяемых для изготовления бронезилетов при воздействии различных внешних факторов

В качестве объектов исследования были выбраны образцы тканей баллистического назначения, представленные в главе 2.

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 [18, 19, 49, 82, 87, 95, 103, 104]

$$Q_{np} = f(Q_{np\text{ усх}}, W_{тк}, W_{тк\ 65}, n, d, t, T_o, T_y, П_o, П_y, t_o, t_y, R_o, R_y), \quad (4.8)$$

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

$Q_{np\text{ усх}}$ – 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. Тогда соотношение примет вид:

$$\frac{Q_{np}}{Q_{np\text{ усх}}} = f(\eta_1, \eta_2), \quad (4.9)$$

где η_1 – безразмерный показатель, характеризующий влияние влажности ткани и скорости движения индентора на нагрузку при прорезании ткани;

η_2 – безразмерный показатель, характеризующий структурные характеристики тканей и количество слоев;

В таблице 4.2 приведены исходные и расчетные значения нагрузки при прорезании параарамидных тканей.

Для установления степени влияния каждого из указанных параметров найдем зависимости

$$\eta = \eta_1 \eta_2, \quad (4.10)$$

$$\eta_1 = f\left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} 65 d}\right) = 2,452 \left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} 65 d}\right) - 0,186, \quad (4.11)$$

где η_1 - безразмерный показатель, характеризующий влияние влажности ткани и скорости движения индентора на нагрузку при прорезании ткани (рисунок 4.3).

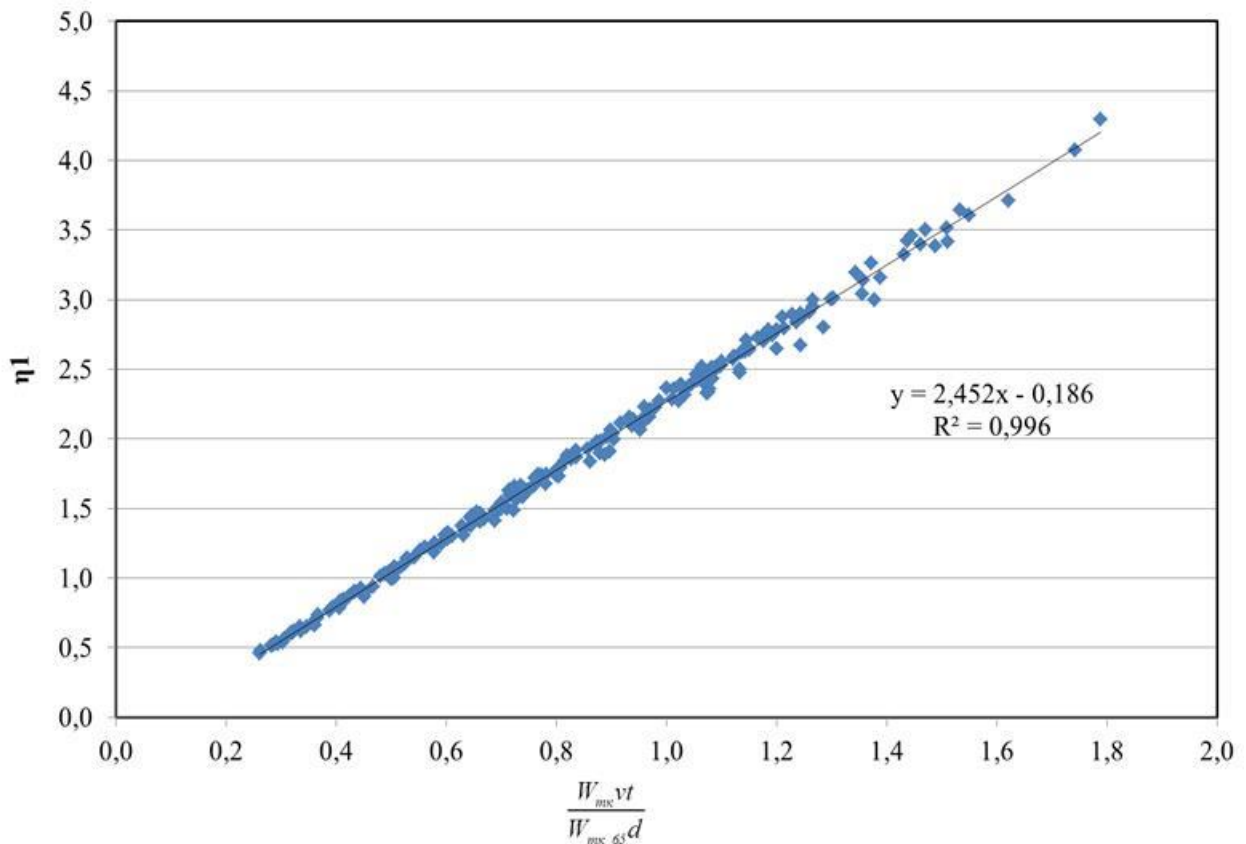


Рисунок 4.3 – Безразмерный показатель, характеризующий влияние влажности ткани и скорости движения индентора на нагрузку при прорезании

Таблица 4.2 – Исходные и расчетные значения нагрузки при прорезании параарамидных тканей

W_{mk} , %	$W_{mk 65}$, %	n	v , м/с	t , с	$\frac{W_{mk} vt}{W_{mk 65} d}$	Q_{np} , Н	$Q_{np\text{ исх}}$, Н	$\frac{Q_{np}}{Q_{np\text{ исх}}}$	η_1	T_o , текс	T_y , текс	P_o , нитей/10см	P_y , нитей/10см	t_o	t_y	R_o	R_y	η_2	$Q_{np\text{ расч}}$, Н	Отклонение, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	1	100	2,23	0,496	13,38	12,86	1,040	1,029	55	55	150	140	1	2	3	3	1,846	12,97	3,10
40	5	2	100	3,62	0,804	22,30	12,86	1,734	1,786	55	55	150	140	1	2	3	3	3,846	22,63	1,48
40	5	4	100	3,75	0,833	24,50	12,86	1,905	1,857	55	55	150	140	1	2	3	3	7,279	23,59	3,71
40	5	6	100	4,32	0,960	28,70	12,86	2,232	2,168	55	55	150	140	1	2	3	3	10,880	27,56	3,97
40	5	8	100	5,45	1,211	37,00	12,86	2,877	2,784	55	55	150	140	1	2	3	3	14,448	35,41	4,31
40	5	1	100	2,85	0,633	15,18	11,22	1,353	1,367	61	60	130	140	4	4	8	8	1,070	14,90	1,82
40	5	2	100	4,36	0,969	24,20	11,22	2,157	2,190	61	60	130	140	4	4	8	8	2,151	24,10	0,41
40	5	4	100	4,88	1,084	27,80	11,22	2,478	2,473	61	60	130	140	4	4	8	8	4,229	27,35	1,62
40	5	6	100	5,11	1,136	29,40	11,22	2,620	2,598	61	60	130	140	4	4	8	8	6,302	28,78	2,10
40	5	8	100	6,17	1,372	36,58	11,22	3,260	3,178	61	60	130	140	4	4	8	8	8,261	35,23	3,68
40	5	1	100	2,22	0,493	11,88	11,62	1,022	1,024	30	30	270	240	1	1	2	2	0,890	11,52	3,06
40	5	2	100	3,44	0,764	19,80	11,62	1,704	1,688	30	30	270	240	1	1	2	2	1,762	19,21	2,98
40	5	4	100	4,07	0,904	23,20	11,62	1,997	2,032	30	30	270	240	1	1	2	2	3,618	23,25	0,21
40	5	6	100	4,82	1,071	28,80	11,62	2,478	2,440	30	30	270	240	1	1	2	2	5,251	27,98	2,85
40	5	8	100	6,05	1,344	37,10	11,62	3,193	3,110	30	30	270	240	1	1	2	2	6,926	35,69	3,81
40	5	1	100	2,66	0,591	13,71	11,00	1,246	1,263	62	60	150	150	1	1	2	2	0,981	13,48	1,68
40	5	2	100	4,22	0,938	23,03	11,00	2,094	2,113	62	60	150	150	1	1	2	2	1,954	22,78	1,06
40	5	4	100	4,79	1,064	26,70	11,00	2,427	2,424	62	60	150	150	1	1	2	2	3,866	26,27	1,61
40	5	6	100	5,37	1,193	30,20	11,00	2,745	2,740	62	60	150	150	1	1	2	2	5,795	29,75	1,50
40	5	8	100	6,62	1,471	38,50	11,00	3,500	3,422	62	60	150	150	1	1	2	2	7,569	37,18	3,43
40	5	1	100	2,25	0,500	9,12	9,18	0,993	1,040	34	32	240	210	1	4	5	5	3,448	9,40	3,04

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	2	100	3,26	0,724	15,20	9,18	1,656	1,590	34	32	240	210	1	4	5	5	6,328	14,41	5,17
40	5	4	100	4,50	1,001	21,70	9,18	2,364	2,268	34	32	240	210	1	4	5	5	12,644	20,59	5,11
40	5	6	100	4,79	1,064	23,10	9,18	2,516	2,423	34	32	240	210	1	4	5	5	19,032	22,01	4,73
40	5	8	100	6,47	1,438	31,40	9,18	3,420	3,341	34	32	240	210	1	4	5	5	25,741	30,35	3,34
40	5	1	250	0,95	0,529	14,70	12,86	1,143	1,111	55	55	150	140	1	2	3	3	1,814	13,99	4,80
40	5	2	250	1,57	0,873	25,40	12,86	1,975	1,955	55	55	150	140	1	2	3	3	3,696	24,77	2,48
40	5	4	250	1,75	0,970	28,40	12,86	2,208	2,192	55	55	150	140	1	2	3	3	7,412	27,85	1,95
40	5	6	250	1,88	1,047	30,80	12,86	2,395	2,382	55	55	150	140	1	2	3	3	11,138	30,28	1,69
40	5	8	250	2,34	1,298	38,60	12,86	3,002	2,997	55	55	150	140	1	2	3	3	14,913	38,13	1,23
40	5	1	250	1,19	0,661	16,41	11,22	1,463	1,435	61	60	130	140	4	4	8	8	1,039	15,65	4,66
40	5	2	250	1,87	1,041	26,70	11,22	2,380	2,366	61	60	130	140	4	4	8	8	2,106	26,04	2,46
40	5	4	250	2,06	1,144	29,50	11,22	2,629	2,619	61	60	130	140	4	4	8	8	4,221	28,97	1,80
40	5	6	250	2,35	1,303	33,80	11,22	3,012	3,009	61	60	130	140	4	4	8	8	6,347	33,33	1,41
40	5	8	250	2,63	1,462	38,10	11,22	3,396	3,398	61	60	130	140	4	4	8	8	8,479	37,66	1,14
40	5	1	250	1,24	0,689	16,92	11,62	1,456	1,503	30	30	270	240	1	1	2	2	0,918	16,91	0,05
40	5	2	250	1,82	1,011	26,52	11,62	2,282	2,293	30	30	270	240	1	1	2	2	1,786	26,09	1,61
40	5	4	250	1,98	1,100	29,30	11,62	2,522	2,510	30	30	270	240	1	1	2	2	3,539	28,72	1,97
40	5	6	250	2,18	1,214	32,50	11,62	2,797	2,790	30	30	270	240	1	1	2	2	5,320	31,98	1,59
40	5	8	250	2,72	1,509	40,80	11,62	3,511	3,515	30	30	270	240	1	1	2	2	7,118	40,33	1,14
40	5	1	250	1,16	0,644	15,14	11,00	1,376	1,394	62	60	150	150	1	1	2	2	0,980	14,88	1,75
40	5	2	250	1,86	1,033	25,44	11,00	2,313	2,348	62	60	150	150	1	1	2	2	1,965	25,31	0,51
40	5	4	250	2,02	1,121	28,30	11,00	2,573	2,562	62	60	150	150	1	1	2	2	3,855	27,77	1,89
40	5	6	250	2,25	1,249	31,70	11,00	2,882	2,876	62	60	150	150	1	1	2	2	5,794	31,22	1,51
40	5	8	250	2,79	1,550	39,70	11,00	3,609	3,614	62	60	150	150	1	1	2	2	7,753	39,27	1,08

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	1	250	1,29	0,716	14,64	9,18	1,595	1,569	34	32	240	210	1	4	5	5	3,241	14,18	3,14
40	5	2	250	1,93	1,073	22,55	9,18	2,456	2,444	34	32	240	210	1	4	5	5	6,555	22,15	1,76
40	5	4	250	2,27	1,260	26,70	9,18	2,908	2,903	34	32	240	210	1	4	5	5	13,151	26,35	1,30
40	5	6	250	2,58	1,431	30,50	9,18	3,322	3,323	34	32	240	210	1	4	5	5	19,769	30,18	1,04
40	5	8	250	3,14	1,742	37,40	9,18	4,074	4,086	34	32	240	210	1	4	5	5	26,432	37,12	0,74
40	5	1	500	0,52	0,578	15,24	12,86	1,185	1,231	55	55	150	140	1	2	3	3	1,939	15,51	1,74
40	5	2	500	0,85	0,944	27,06	12,86	2,104	2,130	55	55	150	140	1	2	3	3	3,779	26,98	0,30
40	5	4	500	0,92	1,022	29,20	12,86	2,271	2,320	55	55	150	140	1	2	3	3	7,631	29,47	0,94
40	5	6	500	0,96	1,069	30,80	12,86	2,395	2,435	55	55	150	140	1	2	3	3	11,387	30,96	0,51
40	5	8	500	1,22	1,356	39,10	12,86	3,040	3,138	55	55	150	140	1	2	3	3	15,412	39,91	2,07
40	5	1	500	0,62	0,689	16,68	11,22	1,487	1,503	61	60	130	140	4	4	8	8	1,071	16,39	1,75
40	5	2	500	1,02	1,133	27,80	11,22	2,478	2,593	61	60	130	140	4	4	8	8	2,217	28,54	2,66
40	5	4	500	1,08	1,200	29,70	11,22	2,647	2,756	61	60	130	140	4	4	8	8	4,412	30,48	2,64
40	5	6	500	1,12	1,244	30,00	11,22	2,674	2,865	61	60	130	140	4	4	8	8	6,811	31,74	5,80
40	5	8	500	1,36	1,511	38,30	11,22	3,414	3,519	61	60	130	140	4	4	8	8	8,737	39,01	1,86
40	5	1	500	0,64	0,711	17,44	11,62	1,501	1,558	30	30	270	240	1	1	2	2	0,923	17,52	0,48
40	5	2	500	1,02	1,133	29,06	11,62	2,501	2,593	30	30	270	240	1	1	2	2	1,843	29,50	1,52
40	5	4	500	1,08	1,200	32,30	11,62	2,780	2,756	30	30	270	240	1	1	2	2	3,526	31,54	2,35
40	5	6	500	1,24	1,378	34,80	11,62	2,995	3,192	30	30	270	240	1	1	2	2	5,685	36,60	5,17
40	5	8	500	1,46	1,622	43,10	11,62	3,709	3,792	30	30	270	240	1	1	2	2	7,269	43,51	0,96
40	5	1	500	0,62	0,689	15,56	11,00	1,415	1,503	62	60	150	150	1	1	2	2	1,028	16,04	3,07
40	5	2	500	0,97	1,078	25,94	11,00	2,358	2,457	62	60	150	150	1	1	2	2	2,016	26,49	2,10
40	5	4	500	1,06	1,178	30,30	11,00	2,755	2,702	62	60	150	150	1	1	2	2	3,797	29,28	3,36
40	5	6	500	1,12	1,244	31,80	11,00	2,891	2,865	62	60	150	150	1	1	2	2	5,755	31,11	2,18

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	5	8	500	1,38	1,533	40,10	11,00	3,645	3,574	62	60	150	150	1	1	2	2	7,590	38,83	3,16
40	5	1	500	0,72	0,800	15,96	9,18	1,739	1,776	34	32	240	210	1	4	5	5	3,364	16,04	0,53
40	5	2	500	1,12	1,244	26,60	9,18	2,898	2,865	34	32	240	210	1	4	5	5	6,515	25,97	2,36
40	5	4	500	1,25	1,389	29,00	9,18	3,159	3,220	34	32	240	210	1	4	5	5	13,429	29,23	0,78
40	5	6	500	1,34	1,489	31,10	9,18	3,388	3,465	34	32	240	210	1	4	5	5	20,214	31,47	1,19
40	5	8	500	1,61	1,789	39,40	9,18	4,292	4,200	34	32	240	210	1	4	5	5	25,791	38,16	3,15
65	8	1	100	1,62	0,366	9,18	12,86	0,714	0,711	55	55	150	140	1	2	3	3	1,858	8,95	2,49
65	8	2	100	2,57	0,580	15,77	12,86	1,226	1,236	55	55	150	140	1	2	3	3	3,764	15,66	0,70
65	8	4	100	2,86	0,645	18,40	12,86	1,431	1,397	55	55	150	140	1	2	3	3	7,289	17,74	3,58
65	8	6	100	3,16	0,714	20,93	12,86	1,628	1,564	55	55	150	140	1	2	3	3	10,760	19,88	5,02
65	8	8	100	4,38	0,988	29,23	12,86	2,273	2,236	55	55	150	140	1	2	3	3	14,688	28,43	2,72
65	8	1	100	1,83	0,413	9,50	11,22	0,847	0,827	61	60	130	140	4	4	8	8	1,034	9,01	5,12
65	8	2	100	2,94	0,664	16,37	11,22	1,459	1,441	61	60	130	140	4	4	8	8	2,092	15,86	3,11
65	8	4	100	3,17	0,715	18,30	11,22	1,631	1,567	61	60	130	140	4	4	8	8	4,071	17,33	5,29
65	8	6	100	3,70	0,836	21,50	11,22	1,916	1,864	61	60	130	140	4	4	8	8	6,183	20,65	3,96
65	8	8	100	5,09	1,149	29,77	11,22	2,653	2,631	61	60	130	140	4	4	8	8	8,404	29,17	2,01
65	8	1	100	1,58	0,357	7,84	11,62	0,675	0,688	30	30	270	240	1	1	2	2	0,907	7,74	1,22
65	8	2	100	2,35	0,530	13,25	11,62	1,140	1,114	30	30	270	240	1	1	2	2	1,738	12,68	4,30
65	8	4	100	3,18	0,718	18,76	11,62	1,614	1,574	30	30	270	240	1	1	2	2	3,466	18,01	4,00
65	8	6	100	3,63	0,819	21,80	11,62	1,876	1,822	30	30	270	240	1	1	2	2	5,181	20,89	4,16
65	8	8	100	4,97	1,122	30,10	11,62	2,590	2,566	30	30	270	240	1	1	2	2	7,044	29,45	2,17
65	8	1	100	1,72	0,388	8,46	11,00	0,769	0,766	62	60	150	150	1	1	2	2	0,964	8,17	3,41
65	8	2	100	2,67	0,603	14,10	11,00	1,282	1,292	62	60	150	150	1	1	2	2	1,950	13,92	1,24
65	8	4	100	3,21	0,724	18,00	11,00	1,636	1,590	62	60	150	150	1	1	2	2	3,762	17,24	4,24

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
65	8	6	100	3,56	0,803	19,66	11,00	1,787	1,784	62	60	150	150	1	1	2	2	5,796	19,37	1,48
65	8	8	100	4,82	1,088	27,60	11,00	2,509	2,481	62	60	150	150	1	1	2	2	7,656	26,96	2,31
65	8	1	100	1,42	0,320	5,58	9,18	0,608	0,600	34	32	240	210	1	4	5	5	3,251	5,42	2,87
65	8	2	100	2,13	0,481	9,30	9,18	1,013	0,993	34	32	240	210	1	4	5	5	6,456	9,00	3,25
65	8	4	100	3,61	0,815	16,91	9,18	1,842	1,812	34	32	240	210	1	4	5	5	12,960	16,45	2,74
65	8	6	100	3,98	0,898	18,94	9,18	2,063	2,017	34	32	240	210	1	4	5	5	19,318	18,32	3,30
65	8	8	100	5,61	1,266	27,07	9,18	2,949	2,919	34	32	240	210	1	4	5	5	26,083	26,52	2,05
65	8	1	250	0,72	0,406	10,08	12,86	0,784	0,810	55	55	150	140	1	2	3	3	1,929	10,21	1,26
65	8	2	250	1,12	0,632	16,80	12,86	1,306	1,364	55	55	150	140	1	2	3	3	3,897	17,27	2,81
65	8	4	250	1,28	0,722	19,10	12,86	1,485	1,585	55	55	150	140	1	2	3	3	7,968	20,13	5,40
65	8	6	250	1,36	0,767	22,43	12,86	1,744	1,696	55	55	150	140	1	2	3	3	10,888	21,56	3,89
65	8	8	250	1,82	1,027	30,73	12,86	2,390	2,332	55	55	150	140	1	2	3	3	14,573	29,66	3,48
65	8	1	250	0,79	0,446	10,39	11,22	0,926	0,907	61	60	130	140	4	4	8	8	1,037	9,89	4,85
65	8	2	250	1,24	0,700	17,32	11,22	1,544	1,530	61	60	130	140	4	4	8	8	2,099	16,83	2,80
65	8	4	250	1,37	0,773	19,50	11,22	1,738	1,709	61	60	130	140	4	4	8	8	4,167	18,90	3,05
65	8	6	250	1,59	0,897	21,40	11,22	1,907	2,014	61	60	130	140	4	4	8	8	6,710	22,31	4,24
65	8	8	250	2,03	1,145	30,40	11,22	2,709	2,623	61	60	130	140	4	4	8	8	8,202	29,07	4,37
65	8	1	250	0,80	0,451	10,02	11,62	0,862	0,919	30	30	270	240	1	1	2	2	0,947	10,34	3,19
65	8	2	250	1,16	0,655	16,70	11,62	1,437	1,420	30	30	270	240	1	1	2	2	1,757	16,16	3,23
65	8	4	250	1,36	0,765	19,80	11,62	1,704	1,691	30	30	270	240	1	1	2	2	3,528	19,35	2,30
65	8	6	250	1,52	0,857	22,37	11,62	1,925	1,915	30	30	270	240	1	1	2	2	5,304	21,95	1,88
65	8	8	250	2,04	1,152	30,67	11,62	2,639	2,638	30	30	270	240	1	1	2	2	7,107	30,27	1,29
65	8	1	250	0,73	0,413	9,06	11,00	0,824	0,826	62	60	150	150	1	1	2	2	0,971	8,81	2,71
65	8	2	250	1,11	0,629	15,10	11,00	1,373	1,355	62	60	150	150	1	1	2	2	1,911	14,61	3,25

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
65	8	4	250	1,39	0,782	19,20	11,00	1,745	1,733	62	60	150	150	1	1	2	2	3,842	18,78	2,20
65	8	6	250	1,47	0,827	20,39	11,00	1,854	1,842	62	60	150	150	1	1	2	2	5,771	20,00	1,92
65	8	8	250	2,09	1,177	29,70	11,00	2,700	2,699	62	60	150	150	1	1	2	2	7,740	29,33	1,24
65	8	1	250	0,77	0,434	8,28	9,18	0,902	0,878	34	32	240	210	1	4	5	5	3,208	7,94	4,15
65	8	2	250	1,17	0,660	13,30	9,18	1,449	1,432	34	32	240	210	1	4	5	5	6,513	12,98	2,40
65	8	4	250	1,55	0,876	18,10	9,18	1,972	1,962	34	32	240	210	1	4	5	5	13,110	17,81	1,61
65	8	6	250	1,73	0,979	20,39	9,18	2,221	2,214	34	32	240	210	1	4	5	5	19,705	20,11	1,36
65	8	8	250	2,41	1,357	28,80	9,18	3,137	3,142	34	32	240	210	1	4	5	5	26,395	28,55	0,88
65	8	1	500	0,45	0,505	12,86	12,86	1,000	1,053	55	55	150	140	1	2	3	3	1,966	13,27	3,20
65	8	2	500	0,59	0,661	18,10	12,86	1,407	1,436	55	55	150	140	1	2	3	3	3,808	18,18	0,47
65	8	4	500	0,66	0,748	21,03	12,86	1,635	1,649	55	55	150	140	1	2	3	3	7,530	20,95	0,39
65	8	6	500	0,74	0,836	23,97	12,86	1,864	1,864	55	55	150	140	1	2	3	3	11,198	23,69	1,16
65	8	8	500	0,96	1,083	32,27	12,86	2,509	2,469	55	55	150	140	1	2	3	3	14,692	31,40	2,69
65	8	1	500	0,45	0,505	11,22	11,22	1,000	1,053	61	60	130	140	4	4	8	8	1,116	11,48	2,36
65	8	2	500	0,67	0,760	18,70	11,22	1,667	1,679	61	60	130	140	4	4	8	8	2,134	18,48	1,20
65	8	4	500	0,71	0,798	19,80	11,22	1,765	1,771	61	60	130	140	4	4	8	8	4,251	19,58	1,11
65	8	6	500	0,80	0,903	22,89	11,22	2,040	2,029	61	60	130	140	4	4	8	8	6,320	22,47	1,82
65	8	8	500	1,05	1,186	31,19	11,22	2,780	2,723	61	60	130	140	4	4	8	8	8,299	30,18	3,24
65	8	1	500	0,45	0,505	11,62	11,62	1,000	1,053	30	30	270	240	1	1	2	2	0,936	11,85	1,99
65	8	2	500	0,63	0,706	17,70	11,62	1,523	1,544	30	30	270	240	1	1	2	2	1,802	17,57	0,74
65	8	4	500	0,72	0,808	20,82	11,62	1,792	1,796	30	30	270	240	1	1	2	2	3,564	20,55	1,30
65	8	6	500	0,79	0,893	23,40	11,62	2,014	2,004	30	30	270	240	1	1	2	2	5,308	22,98	1,81
65	8	8	500	1,03	1,166	31,70	11,62	2,728	2,674	30	30	270	240	1	1	2	2	6,970	30,69	3,20
65	8	1	500	0,45	0,505	11,00	11,00	1,000	1,053	62	60	150	150	1	1	2	2	1,019	11,24	2,18

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
65	8	2	500	0,67	0,756	18,20	11,00	1,655	1,667	62	60	150	150	1	1	2	2	1,950	17,97	1,24
65	8	4	500	0,77	0,872	21,55	11,00	1,959	1,953	62	60	150	150	1	1	2	2	3,859	21,16	1,79
65	8	6	500	0,83	0,940	23,51	11,00	2,137	2,120	62	60	150	150	1	1	2	2	5,759	23,01	2,11
65	8	8	500	1,09	1,229	31,81	11,00	2,892	2,828	62	60	150	150	1	1	2	2	7,570	30,72	3,42
65	8	1	500	0,45	0,505	9,18	9,18	1,000	1,053	34	32	240	210	1	4	5	5	3,470	9,52	3,69
65	8	2	500	0,67	0,760	15,30	9,18	1,667	1,679	34	32	240	210	1	4	5	5	6,635	15,21	0,56
65	8	4	500	0,78	0,881	18,20	9,18	1,983	1,975	34	32	240	210	1	4	5	5	13,125	17,93	1,50
65	8	6	500	0,97	1,100	23,45	9,18	2,554	2,511	34	32	240	210	1	4	5	5	19,429	22,81	2,74
65	8	8	500	1,28	1,446	31,75	9,18	3,459	3,359	34	32	240	210	1	4	5	5	25,594	30,52	3,89
90	9	1	100	0,95	0,263	6,12	12,86	0,476	0,459	56	56	150	140	1	2	3	3	1,802	5,79	5,41
90	9	2	100	1,42	0,394	10,20	12,86	0,793	0,781	56	56	150	140	1	2	3	3	3,677	9,90	2,98
90	9	4	100	1,95	0,542	14,73	12,86	1,145	1,143	56	56	150	140	1	2	3	3	7,454	14,52	1,39
90	9	6	100	2,52	0,701	19,27	12,86	1,498	1,532	56	56	150	140	1	2	3	3	11,453	19,48	1,09
90	9	8	100	3,43	0,953	26,50	12,86	2,061	2,151	56	56	150	140	1	2	3	3	15,591	27,36	3,26
90	9	1	100	1,21	0,336	6,96	11,22	0,620	0,638	62	61	130	140	4	4	8	8	1,090	6,96	0,04
90	9	2	100	1,77	0,492	11,60	11,22	1,034	1,021	62	61	130	140	4	4	8	8	2,092	11,23	3,16
90	9	4	100	2,41	0,668	16,00	11,22	1,426	1,453	62	61	130	140	4	4	8	8	4,317	16,06	0,40
90	9	6	100	2,67	0,741	17,81	11,22	1,587	1,630	62	61	130	140	4	4	8	8	6,529	18,06	1,39
90	9	8	100	3,86	1,073	26,11	11,22	2,327	2,445	62	61	130	140	4	4	8	8	8,905	27,10	3,80
90	9	1	100	1,06	0,294	6,12	11,62	0,527	0,536	31	31	270	240	1	1	2	2	0,905	6,03	1,47
90	9	2	100	1,62	0,450	10,20	11,62	0,878	0,917	31	31	270	240	1	1	2	2	1,858	10,44	2,34
90	9	4	100	2,20	0,611	15,10	11,62	1,299	1,313	31	31	270	240	1	1	2	2	3,593	15,03	0,49
90	9	6	100	2,62	0,727	18,10	11,62	1,558	1,597	31	31	270	240	1	1	2	2	5,470	18,31	1,19
90	9	8	100	3,87	1,075	27,10	11,62	2,332	2,450	31	31	270	240	1	1	2	2	7,472	28,12	3,76

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
90	9	1	100	0,94	0,261	5,05	11,00	0,459	0,454	63	61	150	150	1	1	2	2	0,958	4,85	4,03
90	9	2	100	1,32	0,367	8,10	11,00	0,736	0,713	63	61	150	150	1	1	2	2	1,875	7,69	5,09
90	9	4	100	2,39	0,665	15,61	11,00	1,419	1,445	63	61	150	150	1	1	2	2	3,943	15,66	0,31
90	9	6	100	2,81	0,781	18,44	11,00	1,676	1,728	63	61	150	150	1	1	2	2	5,989	18,76	1,75
90	9	8	100	3,88	1,077	25,70	11,00	2,336	2,455	63	61	150	150	1	1	2	2	8,139	26,68	3,80
90	9	1	100	1,09	0,303	4,96	9,18	0,540	0,556	35	33	240	210	1	4	5	5	3,398	5,03	1,37
90	9	2	100	1,56	0,432	8,27	9,18	0,901	0,874	35	33	240	210	1	4	5	5	6,405	7,92	4,19
90	9	4	100	2,66	0,739	14,53	9,18	1,583	1,625	35	33	240	210	1	4	5	5	13,553	14,75	1,54
90	9	6	100	3,17	0,880	17,41	9,18	1,897	1,971	35	33	240	210	1	4	5	5	20,574	17,90	2,81
90	9	8	100	4,63	1,286	25,71	9,18	2,801	2,966	35	33	240	210	1	4	5	5	27,962	26,95	4,82
90	9	1	250	0,41	0,282	6,61	12,86	0,514	0,506	56	56	150	140	1	2	3	3	1,838	6,38	3,53
90	9	2	250	0,59	0,408	10,70	12,86	0,832	0,815	56	56	150	140	1	2	3	3	3,658	10,33	3,48
90	9	4	250	0,80	0,553	15,40	12,86	1,198	1,171	56	56	150	140	1	2	3	3	7,299	14,87	3,45
90	9	6	250	1,04	0,723	20,92	12,86	1,627	1,588	56	56	150	140	1	2	3	3	10,933	20,19	3,50
90	9	8	250	1,32	0,917	27,20	12,86	2,115	2,063	56	56	150	140	1	2	3	3	14,563	26,24	3,54
90	9	1	250	0,48	0,335	7,26	11,22	0,647	0,635	62	61	130	140	4	4	8	8	1,041	6,93	4,57
90	9	2	250	0,73	0,506	12,10	11,22	1,078	1,055	62	61	130	140	4	4	8	8	2,073	11,61	4,05
90	9	4	250	0,94	0,651	16,20	11,22	1,444	1,410	62	61	130	140	4	4	8	8	4,139	15,59	3,74
90	9	6	250	1,10	0,761	19,32	11,22	1,722	1,680	62	61	130	140	4	4	8	8	6,204	18,61	3,65
90	9	8	250	1,52	1,055	27,62	11,22	2,462	2,400	62	61	130	140	4	4	8	8	8,263	26,60	3,69
90	9	1	250	0,47	0,324	7,20	11,62	0,620	0,609	31	31	270	240	1	1	2	2	0,873	6,85	4,87
90	9	2	250	0,70	0,488	12,00	11,62	1,033	1,010	31	31	270	240	1	1	2	2	1,739	11,50	4,20
90	9	4	250	0,86	0,597	15,20	11,62	1,308	1,278	31	31	270	240	1	1	2	2	3,474	14,63	3,78
90	9	6	250	1,10	0,761	20,00	11,62	1,721	1,680	31	31	270	240	1	1	2	2	5,205	19,26	3,71

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
90	9	8	250	1,46	1,014	27,41	11,62	2,359	2,300	31	31	270	240	1	1	2	2	6,933	26,39	3,72
90	9	1	250	0,41	0,286	5,76	11,00	0,524	0,515	63	61	150	150	1	1	2	2	0,953	5,50	4,51
90	9	2	250	0,61	0,425	9,60	11,00	0,873	0,855	63	61	150	150	1	1	2	2	1,897	9,22	4,00
90	9	4	250	0,93	0,644	15,70	11,00	1,427	1,394	63	61	150	150	1	1	2	2	3,783	15,11	3,77
90	9	6	250	1,04	0,725	17,94	11,00	1,631	1,592	63	61	150	150	1	1	2	2	5,671	17,28	3,66
90	9	8	250	1,47	1,024	26,24	11,00	2,385	2,326	63	61	150	150	1	1	2	2	7,551	25,27	3,70
90	9	1	250	0,46	0,319	5,56	9,18	0,606	0,595	35	33	240	210	1	4	5	5	3,243	5,38	3,26
90	9	2	250	0,81	0,562	11,20	9,18	1,220	1,193	35	33	240	210	1	4	5	5	6,451	10,81	3,49
90	9	4	250	1,06	0,735	15,20	9,18	1,656	1,616	35	33	240	210	1	4	5	5	12,884	14,67	3,48
90	9	6	250	1,34	0,933	19,78	9,18	2,155	2,101	35	33	240	210	1	4	5	5	19,308	19,08	3,52
90	9	8	250	1,82	1,266	27,50	9,18	2,996	2,919	35	33	240	210	1	4	5	5	25,723	26,52	3,58
90	9	1	500	0,21	0,292	6,90	12,86	0,537	0,529	56	56	150	140	1	2	3	3	1,841	6,67	3,38
90	9	2	500	0,33	0,453	11,50	12,86	0,894	0,924	56	56	150	140	1	2	3	3	3,857	11,70	1,77
90	9	4	500	0,42	0,579	16,12	12,86	1,253	1,233	56	56	150	140	1	2	3	3	7,345	15,66	2,84
90	9	6	500	0,47	0,656	18,96	12,86	1,474	1,423	56	56	150	140	1	2	3	3	10,810	18,09	4,58
90	9	8	500	0,69	0,958	27,26	12,86	2,120	2,164	56	56	150	140	1	2	3	3	15,244	27,52	0,96
90	9	1	500	0,25	0,347	7,32	11,22	0,652	0,665	62	61	130	140	4	4	8	8	1,081	7,25	0,89
90	9	2	500	0,37	0,520	12,20	11,22	1,087	1,090	62	61	130	140	4	4	8	8	2,124	12,00	1,66
90	9	4	500	0,47	0,648	16,28	11,22	1,451	1,403	62	61	130	140	4	4	8	8	4,098	15,52	4,70
90	9	6	500	0,64	0,889	21,18	11,22	1,888	1,994	62	61	130	140	4	4	8	8	6,714	22,08	4,26
90	9	8	500	0,82	1,139	29,48	11,22	2,627	2,607	62	61	130	140	4	4	8	8	8,409	28,90	1,98
90	9	1	500	0,26	0,361	7,68	11,62	0,661	0,699	31	31	270	240	1	1	2	2	0,941	7,87	2,46
90	9	2	500	0,38	0,525	12,80	11,62	1,102	1,102	31	31	270	240	1	1	2	2	1,779	12,54	2,02
90	9	4	500	0,43	0,604	15,40	11,62	1,325	1,295	31	31	270	240	1	1	2	2	3,474	14,82	3,79

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
90	9	6	500	0,62	0,861	21,30	11,62	1,833	1,925	31	31	270	240	1	1	2	2	5,602	22,07	3,64
90	9	8	500	0,78	1,083	28,24	11,62	2,430	2,470	31	31	270	240	1	1	2	2	7,228	28,35	0,38
90	9	1	500	0,22	0,306	6,18	11,00	0,562	0,563	63	61	150	150	1	1	2	2	0,971	6,01	2,76
90	9	2	500	0,34	0,467	10,30	11,00	0,936	0,960	63	61	150	150	1	1	2	2	1,986	10,35	0,50
90	9	4	500	0,46	0,645	15,87	11,00	1,443	1,396	63	61	150	150	1	1	2	2	3,747	15,13	4,68
90	9	6	500	0,53	0,736	17,85	11,00	1,623	1,619	63	61	150	150	1	1	2	2	5,796	17,58	1,54
90	9	8	500	0,76	1,056	26,60	11,00	2,418	2,402	63	61	150	150	1	1	2	2	7,695	26,10	1,87
90	9	1	500	0,24	0,333	5,88	9,18	0,641	0,631	35	33	240	210	1	4	5	5	3,253	5,70	2,98
90	9	2	500	0,37	0,513	9,80	9,18	1,068	1,073	35	33	240	210	1	4	5	5	6,634	9,73	0,76
90	9	4	500	0,53	0,736	15,27	9,18	1,663	1,619	35	33	240	210	1	4	5	5	12,847	14,70	3,75
90	9	6	500	0,69	0,958	19,73	9,18	2,149	2,164	35	33	240	210	1	4	5	5	19,934	19,65	0,39
90	9	8	500	0,89	1,236	26,03	9,18	2,836	2,845	35	33	240	210	1	4	5	5	26,488	25,85	0,71

$$\eta_2 = f(n \cdot K) = \frac{(n \cdot K)}{0,834 \cdot (n \cdot K) + 0,017}, \quad (4.12)$$

где η_2 - безразмерный показатель, характеризующий структуру ткани (рисунок 4.4)

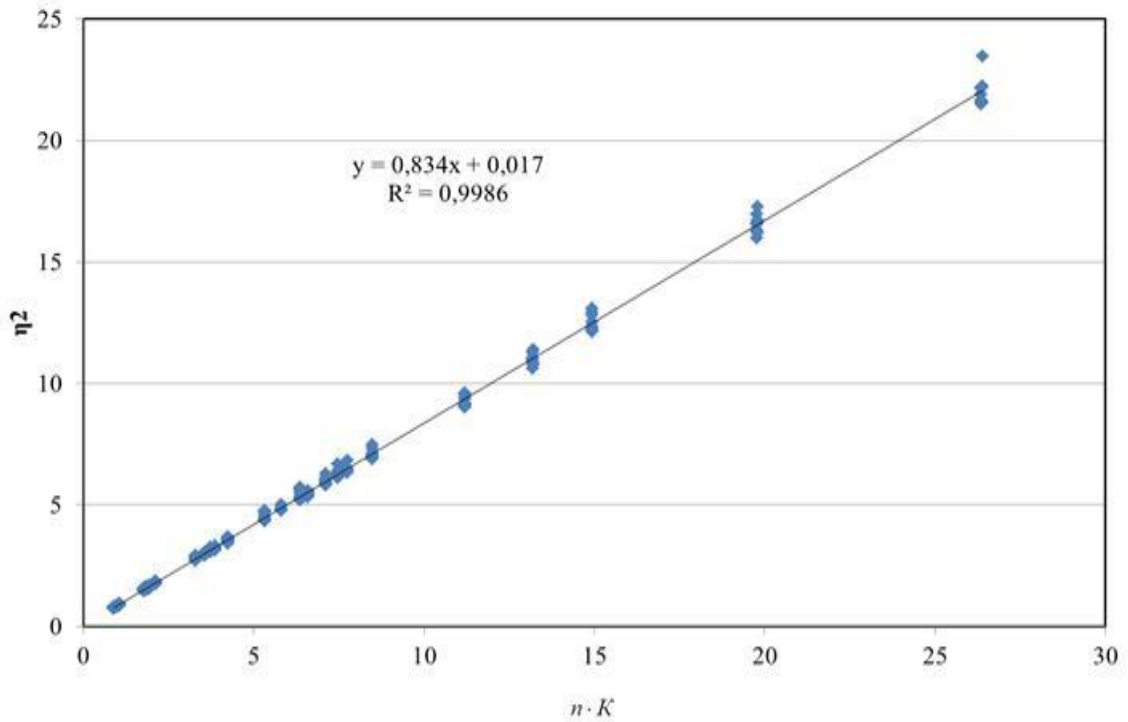


Рисунок 4.4 - Безразмерный показатель, характеризующий структуру ткани

Таким образом, окончательная формула для расчета нагрузки при прорезании примет вид:

$$Q_{пр\ расч} = 0,826 \cdot Q_{пр\ исх} \cdot \left(2,452 \left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} 65d} \right) - 0,186 \right) \cdot \left(\frac{(n \cdot K)}{0,834 \cdot (n \cdot K) + 0,017} \right) \quad (4.13)$$

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

Получена математическая модель, позволяющая с высокой степенью точности прогнозировать нагрузку при прорезании в зависимости от влажности пара-арамидных тканей, скорости движения индентора, количества слоев и параметров строения образцов.

Выводы по главе

1. Окончательная формула для расчета усилия прокола примет вид:

$$Q_{yn \text{ расч}} = 0,182 \cdot Q_{yn \text{ исх}} \cdot \left(11,670 \left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} 65d} \right) - 0,012 \right) \cdot \left(\frac{(n \cdot K)}{0,183 \cdot (n \cdot K) + 0,002} \right)$$

Отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 4,42%.

2. Окончательная формула для расчета нагрузки при прорезании примет вид:

$$Q_{np \text{ расч}} = 0,826 \cdot Q_{np \text{ исх}} \cdot \left(2,452 \left(\frac{W_{mk} vt}{W_{mk} 65d} \right) - 0,186 \right) \cdot \left(\frac{(n \cdot K)}{0,834 \cdot (n \cdot K) + 0,017} \right)$$

Отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 5,56%.

3. Полученные математические модели 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.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

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 усилие 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 структурными характеристиками, 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.

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

Список литературы

1. Алешин, Р. Р. Разработка метода оценки деформационных свойств технических нитей в динамическом режиме: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Алешин Руستم Равилевич. – С.-Петербург, 2008. – 194 с.
2. Амирова Э.К. Технология швейных изделий: учебник, 6-е изд., испр. / Э.К. Амирова, А.Т. Труханова, О.В. Сакулина, Б.С. Сакулин. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 512 с.
3. Анастасиади Г.П. Качество продукции специального назначения / Г.П. Анастасиади, Ю.С. Васильев, Е.Е. Парфенова, М.В. Сильников. – Учебное пособие. – СПб.: Фонд «Университет», 2001. – 352 с.
4. Анастасиади Г.П. Работоспособность броневых материалов / Г.П. Анастасиади, М.В. Сильников. – СПб.: Изд. АСТЕРИОН, , 2004. – 621с.
5. Афанасьев, А.А. Физические основы измерений: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Афанасьев, А.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 240 с.
6. Бандурян, С.И. Генезис структуры поверхности волокна армос / С.И. Бандурян, М.М. Иовлева, А.И. Журавлева, А.М. Щетинин, Н.Н. Мачалаба, Г.А. Будницкий// Химические волокна. – 2002. – №6. – С. 41–43
7. Бандурян, С.И. Электронно микроскопическое исследование структуры волокон армос / С.И. Бандурян, М.М. Иовлева, А.М. Щетинин, Н.Н. Мачалаба, Г.А. Будницкий// Химические волокна. – 2000. – №4. – С. 28-31
8. Беспалов, И.А. Новый подход к оценке качества показателя V50 [Электронный ресурс] / И.А. Беспалов, П.П. Тимофеев // <http://www.alt.niistali.ru/articles>
9. Беспалова, Л.Б. Криминалистическая экспертиза холодного оружия: Дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.09 / Беспалова Людмила Борисовна. – Москва, 1998 225 с.
10. Будницкий, Г.А. Армирующие волокна для волокнистых материалов / Г.А. Будницкий // Химические волокна. – 1990. - №2. – С. 5 – 13

11. Бузов, Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учебник / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова. – М.: Академия, 2004. – 448 с.

12. Буланов, Я.И. Исследование влияния воды на механические свойства баллистических тканей для создания защиты от оружия различных видов / Я.И. Буланов, А.В. Курденкова, А.Н. Шманев // В сборнике: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ - 2015). Сборник материалов международной научно-технической конференции. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии», 2015, С. 131-134.

13. Буланов, Я.И. Исследование влияния обработки баллистических тканей спиртовым раствором канифоли на усилие прокола / Я.И. Буланов, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов, В.В. Гембач // Химические волокна. – 2017. – №1

14. Буланов, Я.И. Исследование влияния поверхностной обработки на усилие прокола баллистических тканей / Я.И. Буланов, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов // Дизайн и технологии. –2017

15. Буланов, Я.И. Исследование механических свойств баллистических тканей с учетом количества слоев / Я.И. Буланов, Ю.С. Шустов, А.В. Курденкова // Химические волокна. –2014. – №5 – С. 41 – 43

16. Бызова, Е.В. Набухание и изменение свойств отечественных параарамидных нитей Армос и Русар при действии влаги/ Е.В. Бызова, К.Е. Перепелкин, Н.П. Травина // Технический текстиль. – 2006. – №13.

17. Бызова, Е.В. Старение параарамидных нитей под влиянием эксплуатационных воздействий: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Бызова Елена Владиславовна. – Санкт-Петербург, 2003, 235 с.

18. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования. Применительно к задачам электроэнергетики / В.А. Веников, Г.В. Веников. – М.: Либроком, 2014, 410 с.

19. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования: учебное пособие для вузов, 2-е изд., доп. и перераб. / В.А. Веников – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.

20. Влияние влажности текстильного бронепакета на его баллистическую стойкость [Электронный ресурс] // <http://materialy-bronirovaniya.ru/mekhanizmy-vzaimodeistviya-puli-tekstilnoi-bronei/vliyanie-vlazhnosti-tekstilnogo-bronepaketa-ballisticheskuyu-stoikost>

21. Волохина, А.В. Создание высокопрочных, термо- и огнестойких синтетических волокон/ А.В. Волохина, А.М. Щетинин, // Химические волокна, 2001 №2 - С. 14-18, 22-28, 31-36

22. Гатапова, Н.Ц. Основы теории и техники физического моделирования и эксперимента: учебное пособие [Электронный ресурс] / Н.Ц. Гатапова, А.Н. Колиух, Н.В. Орлова, А.Ю. Орлов. – Тамбов, 2014. – 77 с.

23. Главный информационно-аналитический центр МВД РФ [Электронный ресурс] // <http://www.мвд.рф>

24. ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования»

25. ГОСТ Р 51215-98 «Оружие холодное. Термины и определения»

26. Гребенников, С.Ф. Молекулярная подвижность в системе высокопрочные параарамидные нити вода / С.Ф. Гребенников // Химические волокна, 2008 - N 3 - С. 29-30.

27. Григорьев, Г.А. Термодинамика и кинетика смачивания и растекания: учебное пособие / Г.А. Григорьев – М.: МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2008 – 76 с.

28. Григорян, В.А. Баллистическая стойкость текстильной брони, пропитанной густеющей при быстром сдвиге жидкостью (так называемая "жидкая броня") [Электронный ресурс] / В.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, И.А. Беспалов, В.М. Маринин // <http://www.alt.niistali.ru/articles>

29. Григорян, В.А. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования/ В.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин, Е.Н. Чистяков. – М.: Изд. РадиоСофт, 2008. – 406 с.

30. Григорян, В.А. Перспективы совершенствования тканевой защиты для создания средств индивидуальной броне защиты / В.А. Григорян, О.Б. Дашевская,

Б.Д. Чухин, В.А. Хромушин // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды 3-ей Всероссийской научно- практической конференции в двух томах. Т. 2. С.-Пб, 2000

31. Григорян, В.А. Разработка в области легких спецматериалов и возможности их использования в СИБ / В.А. Григорян, Э.Н. Петрова, В.В. Прошкин, Е.И. Степанов, С.Ю. Чусов, В.П. Яньков // Труды научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности», С. - Петербург, 2005 г.

32. Григорян, В.А. Экспериментально-расчетный метод оценки противосколочной стойкости текстильной брони на основе характеристик энергоемкости [Электронный ресурс] / В.А. Григорян, В.М. Маринин // <http://www.alt.niistali.ru/articles>

33. Григорян, Н.А. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / Н.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин, Е.Н. Чистяков (Под ред. В.А. Григоряна). – М: Изд. РадиоСофт, 2008. – 406 с.

34. Гуль, В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров: учеб. для хим.-технолог. вузов, 4-е изд., перераб. и доп. / В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнев. – М.: Издательство «Лабиринт», 1994. – 367 с.

35. Егоров, Н.В. Анализ структур огнезащитных тканей из арамидных нитей и особенности их изготовления на современном ткацком станке: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Егоров Николай Вячеславович. – М: 2010, 182 с.

36. Ищенко, Е.П. Криминалистика: 2-е изд., испр., доп. и перераб / Е.П. Ищенко, А.А. Топорков. – М.: Контракт, ИНФРА-М, 2010. - 784 с.

37. Кашеева, М.М. Разработка облегченных структур технических тканей из углеродных нитей и особенности их изготовления на ткацком станке: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Кашеева Мария Марковна. – М.: 2009. – 141 с.

38. Кирюхин, С.М. Текстильное материаловедение / С.М. Кирюхин, Ю.С. Шустов – М.: КолосС, 2010. – 360 с.

39. Кобляков А.И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению – М.: Легпромсбыт, 1986. – 344 с/

40. Кобылкин, И.Ф. Баллистическая стойкость текстильной и органопластичной брони / И.Ф. Кобылкин // Оборонная техника: ежемесячный научно-технический сборник / НТЦ "Информтехника". – 2008. – Вып. 1 - 2: Январь-Февраль. – С. 14-20

41. Кобылкин, И.Ф. Материалы и структуры легкой бронезащиты: учебник / И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 191 с.

42. Кобылкин, Иван Федорович. Физические основы устройства и действия средств поражения и боеприпасов [Электронный ресурс] / И. Ф. Кобылкин, С. С. Рассоха.– М.: Московский гос. технический ун-т им. Н. Э. Баумана, Фак. "Специальное машиностроение", Каф. "Высокоточные летательные аппараты". - Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.

43. Кобылкин, И.Ф. Энергетический подход к определению предельной скорости пробития текстильных бронепакетов [Электронный ресурс] / И.Ф. Кобылкин, В.А. Григорян, В.М. Маринин // <http://www.alt.niistali.ru/articles>

44. Кокорев, Л.Д. Уголовный процесс, доказательства и доказывание / Л.Д. Кокорев. – Воронеж, 1995. – 156 с.

45. Кормушин, В.А. Перспективы развития боевых защитных комплектов военнослужащих / В.А. Кормушин, А.С. Каменских, С.В. Ожгибесов, М.В. Осыко, В.С. Коннов, Н.М. Дудченко // Труды 9 научно-практической конференции «Новейшие тенденции в области индивидуальной бронезащиты», Москва. НИИ Стали, 2007 г.

46. Кудрявцев Г.И., Варшавский В.Я., Щетинин А.М., Казаков М.Е. Армирующие химические волокна для композиционных материалов / Г.И. Кудрявцев, В.Я. Варшавский, А.М. Щетинин, М.Е. Казаков – М.: Химия, 1992. – 329 с.

47. Кудрявцев, В.Н. Объективная сторона преступления. Общая теория квалификации преступлений / В.Н. Кудрявцев. – М., 2001. – 108 с.

48. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение. Текстильные полотна и изделия: учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.И. Кобляков – М: Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.

49. Курденкова, А.В. Прогнозирование нагрузки при прорезании тканей, применяемых для изготовления бронежилетов с учетом влажности и количества слоев / А.В. Курденкова, Я.И. Буланов, Ю.С. Шустов // Дизайн и технологии. – №45 (87) – С. 62 – 67

50. Курденкова, А.В. Прогнозирование прочности тканей баллистического назначения при воздействии различных внешних факторов / А.В. Курденкова, Я.И. Буланов, Ю.С. Шустов // Вестник технологического университета – 2015. – Т.18. – №6. – С. 147 – 150

51. Куринов, Б.А. Научные основы квалификации преступлений: учебное пособие / Б.А. Куринов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 181 с.

52. Лебедева, Н.П. Влияние эксплуатационных воздействий на свойства параарамидных нитей технического назначения: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Лебедева Наталья Павловна. – С.-Петербург, 2007. – 239с.

53. Мачалаба, Н.Н. Тенденции в области развития синтетических волокон для баллистических материалов / Н.Н. Мачалаба, Г.А. Будницкий, А.М. Щетинин, Г.Г. Френкель// Химические волокна. – 2001. – №2. – С. 31 – 40.

54. Михеев, В.Г. Концептуальные основы создания средств индивидуальной защиты. Часть I. Бронежилеты / под общ. ред. В.Г. Михеева. – М.: Межакадемическое изд. «Вооружение. Политика. Конверсия». 2003. – 340 с.

55. Морозов, Е.М. Контактные задачи механики разрушения / Е.М. Морозов, М.В. Зернин. – М.: Машиностроение, 1999. – 546 с.

56. Нехорошкина М.С. Методика определения доли энергии удара, поглощенной тканью или пакетом ткани / М.С. Нехорошкина, П.Н. Рудовский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. –2015. – №1. – С. 53 – 56

57. Нехорошкина, М.С. Исследование поглощения энергии при изменении формы ткани в процессе внедрения инородного тела / М.С. Нехорошкина, П.Н. Рудовский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 1 (30). – С. 165-167

58. Нехорошкина, М.С. Обоснование формы индентора при экспериментальном исследовании способности ткани предохранять от удара / М.С. Нехорош-

кина, П.Н. Рудовский, Г.К. Букалов, Е.В. Кривошеина // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – №5 (353). – С. 18 – 22

59. Никитина, О.В. Исследование влияния светопогоды на механические свойства параарамидных нитей / О.В. Никитина, Ю.С. Шустов, А.В. Курденкова, О.Н. Антонова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2007. – №2. – С. 26 – 28

60. Никитина, О.В. Оценка качества параарамидных нитей после действия светопогоды / О.В. Никитина, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2012. – №2. – С. 15 – 18

61. Никитина, О.В. Разработка метода прогнозирования механических свойств параарамидных нитей после воздействия светопогоды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Никитина Ольга Владимировна. – М., 2012. – 200 с.

62. Ноздрачев, А.В. Экипировка: Учебное пособие / А.В. Ноздрачев, В.П. Сальников, М.В. Сильников, В.А. Химичев – СПб.: Фонд «Университет», 2001. – 272 с.

63. Официальный сайт Следственного Комитета РФ [Электронный ресурс] // <http://sledcom.ru>.

64. Официальный сайт Судебного Департамента при ВС РФ [Электронный ресурс] // <http://www.cdep.ru>.

65. Перепелкин К.Е. Действие активных жидких сред на химические волокна / К.Е. Перепелкин, А.В. Зарин, А.С. Андреев, Л.А. Звезгинцева. – М.: НИИТЭХИМ, 1982. - 80 с.

66. Перепелкин К.Е. Теория экстремальных механических и термических свойств волокон и игольчатых кристаллов. Сравнение с экспериментальными данными // Химические волокна. – 2004. – № 4. – С. 3-11

67. Перепелкин, К.Е. Сорбция водяных паров высокопрочными нитями / К.Е. Перепелкин, С.Ф. Гребенников // Химические волокна. – 2007. – №5 – С. 50 – 52

68. Перепелкин, К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К.Е. Перепелкин. – С.-Петербург: Научные основы и технологии, 2009. – 380 с.

69. Перепелкин, К.Е. Волокна и волокнистые материалы для армирования композитов с экстремальными свойствами / К.Е. Перепелкин // Механика композитных материалов. – 1992. – №3. – С. 291 – 306

70. Перепелкин, К.Е. Волокнистые полимерные композиты, их основные виды, принципы получения и свойства Ч. 5. Влияние эксплуатационных воздействий на волокнистые полимерные композиты; характеристики их безопасности / опасности / К.Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2006. – № 6. – С. 26-40

71. Перепелкин, К.Е. Параарамиды в текстиле и композитах - высокомолекулярные волокнистые материалы для обеспечения надежности и безопасности / К.Е. Перепелкин, Н.Н. Мачалаба, Г.А. Будницкий, Н.Н. Курылева // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2000. – № 4. – С. 64-83

72. Перепелкин, К.Е. Принципы и методы модифицирования волокон и волокнистых материалов / К.Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2005. – № 2. – С. 37 – 51

73. Перепелкин, К.Е. Свойства параарамидных нитей армос в условиях эксплуатационных воздействий. Сравнение с другими параарамидами / К.Е. Перепелкин, Н.Н. Мачалаба, В.А. Кварацхелия // Химические волокна. – 2001. – №2. – С. 22 – 29

74. Перепелкин, К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности / К.Е. Перепелкин // Российский химический журнал (журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2002. – т. XLVI. – № 1. – С. 31 – 48

75. Перепелкин, К.Е. Теоретические и предельные свойства волокон. Волокна с экстремальными свойствами / К.Е. Перепелкин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 1999. - №3. – С. 26 – 33

76. Рарог, А.И. Уголовное право России: 3-е изд., с изм. и доп./ А.И. Рарог – М.: Эксмо, 2009. – 496 с.
77. Рыбин, А.А. Оценка механического поведения полимерных нитей при импульсных нагрузках / А.А. Рыбин // Химические волокна.- 1998. - №6 - С. 50 – 52
78. Рыбин, А.А. Экспериментальный анализ механического поведения полимерных нитей в исходном состоянии и в составе тканей при импульсных нагрузках / А.А. Рыбин, А.Ю. Летников, И.И. Сидоров // Вопросы оборонной техники. Сер. 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – 2001. – Вып. 3 (125). – 4 (126).
79. Рыбин, А.А. Предельные и разрушающий уровни механических характеристик арамидных нитей при динамическом разрыве / А.А. Рыбин, С.В. Бухаров, М.В. Шаблыкин //Химические волокна. – 2006. – №6. – С. 12 – 14
80. Савостицкий, А.В. Технология швейных изделий / А. В. Савостицкий, Е. Х. Меликов, И. А. Куликова – М.: Книга по Требованию, 2013. – 600 с.
81. Савостицкий, А.В. Технология швейных изделий / А.В. Савостицкий, Е.Х. Меликов, И.А. Куликова (ред. Рычкова О.И., Хохлова Т.А.) – М.: Легкая индустрия, 1971. – 598 с.
82. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике: 8-е изд., перераб. / Седов Л.И. – М.: Наука, 1977. – 440 с.
83. Сильников, М.В. Средства индивидуальной бронезащиты / М.В. Сильников, В.А. Химичев. – СПб.: университет МВД РФ, Фонд "Университет", 2000 г., 480с.
84. Сильников, М.В. Получение объёмно-структурированных композиционных материалов / М.В. Сильников, Ю.М. Аносов, М.Ю. Аносов. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. – 151 с.
85. Слугин, А.И. Разработка новых облегченных арамидных тканей на основе вторичных регенерированных волокон и технологических параметров их изготовления: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Слугин Андрей Иванович. – М., 2012. – 162 с.

86. Слугин, К.В. Микрофиламентная нить Русар для средств баллистической защиты / К.В. Слугин, Г.Б. Склярова и др. // Химические волокна. – 2006. – №1. – С. 17 – 19
87. Соколов, В.А. Основы теории подобия и анализа размерностей в нефтегазодобыче: учебное пособие / В.А. Соколов. – Ухта: УГТУ, 2001. – 159 с.
88. Стандарт Великобритании на средства индивидуальной защиты для полиции, («PSDB Body Armmi г Standards For UK Police», редакция 7/03, 2003 г.)
89. Стандарт Германии «Бронежилеты», (Technische Richtlinie «Ballistische Schutzklassen», редакция декабрь 2003 г).
90. Стандарт США NIJ 0115.00 «Стойкость индивидуальной бронезащиты к холодному оружию», («Stab Resistance of Personal Body Armor» редакция сентябрь 2000 г)
91. Стандарт США NIJStd-0101.04 «Баллистические характеристики средств индивидуальной защиты», («Ballistic Resistance of Personal Body Armor», редакция 2000 г.).
92. Стандарт США NIJStd-0106.01 «Защитные каски». (NIJStandard for Ballistic Helmets», редакция 1981 г (взамен N1LESJ- STD-0106.00 редакции 1975 г.))
93. Степанова, А.Б. Влияние условий эксплуатации на механические свойства параарамидных нитей: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / С.-Петербург, 2014. – 243 с.
94. Тагер А.А. Физико-химия полимеров: учебное пособие для хим. фак. унтов, 4-е изд., перераб. и доп. / А.А. Тагер, под ред. А.А. Аскадского. - М.: Научный мир, 2007. – 573с.
95. Тихонов А.И. Основы теории подобия и моделирования (электрические машины): Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2011. – 132 с.
96. Уголовно-Процессуальный кодекс РФ от 18 декабря 2001 г. №174-ФЗ.
97. Уголовный кодекс РФ, от 13.06.1996 г. №63-ФЗ
98. Федеральный закон РФ «Об оружии» от 13.12.1996 № 150-ФЗ

99. Филиппов, А. Г. Криминалистика. Базовый курс : учебник /под ред. А. Г. Филиппова. – М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2011. – 441 с.

100. Шманёв, А.Н. Разработка методик оценки качества баллистических тканей с учетом условий эксплуатации / А.Н. Шманёв, Ю.С. Шустов, Курденкова А.В., Буланов Я.И. // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции ИНТЕКС-2015. Часть 1. – 2015. – С. 99 – 101

101. Шустов, Ю.С. , Буланов Я.И. Исследование механических свойств баллистических тканей в сухом и мокром состоянии / Ю.С. Шустов, Я.И. Буланов // Материалы международной научной конференции «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности», Витебск, 2013. – С. 141 - 143

102. Шустов, Ю.С. Исследование прочности тканей специального назначения при воздействии острых предметов / Ю.С. Шустов, А.В. Курденкова, Я.И. Буланов // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: Материалы докладов международной научно-технической конференции, УО «ВГТУ». –2014. – С. 466-468

103. Шустов, Ю.С. Разработка методов прогнозирования строения и свойств текстильных материалов с использованием теории подобия и анализа размерностей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.01 / Шустов Юрий Степанович. – М., 2003. – 281 с.

104. Шустов, Ю.С. Разработка методов прогнозирования физико-механических свойств хлопчатобумажных тканей: монография / Ю.С. Шустов, А.В. Курденкова. – М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2006. – 208 с.

105. Шустов, Ю.С. Текстильное материаловедение. Лабораторный практикум: учебное пособие / Ю.С. Шустов, С.М. Кирюхин, А.Ф. Давыдов и др. – М: ИНФРА-М, 2016. – 341 с.

106. Bulanov, Y.I. Study of the mechanical properties of ballistic fabrics taking into account the number of layers / Bulanov Y.I., Shustov Y.S., Kurdenkova A.V. // Fibre Chemistry. – 2015. – Т. 46. – № 5. – С. 309 – 311

107. Cunnif, P.M. A Design Tool for the Development of Fragmentation Protective Body Armor / P.M. Cunnif // Proceedings of the Eighteenth International Symposium on Ballistics - San Antonio, USA. – 1999
108. Lee, Y.S. The Ballistic Impact Characteristics of Kevlar Woven Fabrics Impregnated with Colloidal Shear Thickening Fluid / Y.S. Lee, F.D. Wetzel, N.J. Wagner // Journal of Material Science, 2003, vol.38, P. 2825-2833
109. Porval, P.K. Modeling System Effects in Ballistic Impact into multi-Layered Fibrous Materials for Sort Body armor / P.K. Porval, S.L. Phoenix // Intern. Journal of Fracture. 2005, №10
110. The Independent [Электронный ресурс] // <http://www.independent.co.uk>
111. Walker, J.D. Ballistic Limit of Fabrics with Resin / J.D. Walker // Proceedings of the Nineteenth International Symposium on Ballistics - Interlaken, Switzerland. - 2001.