

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. А.Н. КОСЫГИНА (ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»

На правах рукописи



Байчоров Тимур Муратович

**РАЗРАБОТКА И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТОНКОЙ ШЕРСТИ
ПО ЦИКЛУ «НЕМЫТАЯ ШЕРСТЬ – ТРИКОТАЖНАЯ ПРЯЖА»**

Специальность 05.19.02

«Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья»

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор К.Э. Разумеев

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТОНКОЙ ШЕРСТИ..... | 9 |
| 1.1 Анализ предметной области исследования | 9 |
| 1.2 Характеристики шерстяного волокна | 12 |
| 1.3 Особенности технологического процесса первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой и полутонкой шерсти..... | 16 |
| 1.4 Анализ работ по проектированию прочности шерсти и шерстяной пряжи..... | 18 |
| 1.5 Исследование характеристик и расчета прочности крученой нити и крученых изделий | 23 |
| Выводы по первой главе | 27 |
| ГЛАВА 2. НЕПРЕРЫВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТОНКОЙ ШЕРСТИ | 29 |
| 2.1 Технология первичной обработки невыттой шерсти. Влияние первичной обработки шерсти на характеристики волокон | 29 |
| 2.1.2 Свойства сырья и подготовка к смешиванию и кардочесанию | 37 |
| 2.2 Технология обработки шерсти. Технологический процесс от линии ПОШ до получения гребенной ленты | 40 |
| 2.3 Методы определения загрязненности невыттой шерсти. Расчет выхода мытой шерсти и гребенной ленты по стандарту International Wool Textile Organization .. | 46 |
| Выводы по второй главе..... | 53 |
| ГЛАВА 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПУЧКА НИТЕЙ. ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАТЯЖЕНИЯ И ДЛИНЫ ОДИНОЧНЫХ НИТЕЙ НА СВОЙСТВА ПУЧКА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ НИТЕЙ..... | 55 |
| 3.1 Определение прочности пучка неравномерных по разрывным характеристикам нитей | 55 |
| 3.2 Моделирование прочности пучка параллельных нитей..... | 60 |
| Выводы по третьей главе | 74 |

| | |
|---|-----|
| ГЛАВА 4. РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕРСТЯНОЙ ТРИКОТАЖНОЙ ПРЯЖИ..... | 76 |
| 4.1. Исследование и определение прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи..... | 76 |
| 4.2 Определение прочности шерстяной трикотажной пряжи в зависимости от составляющих ее свойств | 84 |
| 4.3. Удлинение шерстяной трикотажной пряжи в зависимости от свойств составляющих ее свойств | 92 |
| 4.4 Компьютерное и математическое моделирование физико-механических характеристик шерстяной трикотажной пряжи, в зависимости от свойств составляющих ее прядей..... | 97 |
| 4.5 Прочность нити в процессе приготовления шерстяной трикотажной пряжи. | 109 |
| 4.5.1 Крутка пряжи. Структура крученой пряжи. Определение показателей прочности пряжи..... | 109 |
| 4.5.2 Относительная и абсолютная разрывная нагрузка шерстяной трикотажной пряжи на предприятии с непрерывной технологией..... | 118 |
| 4.5.3 Определение показателей прочности крученой шерстяной пряжи с помощью компьютерного моделирования | 123 |
| 4.6 Решение задач определения прочности крученых и плетеных изделий с помощью разработанной автоматизированной системы | 126 |
| Выводы по четвертой главе | 133 |
| 5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ | 135 |
| 6. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 137 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 152 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Одной из неотъемлемых частей российского народного хозяйства является текстильная промышленность, а в ее рамках одним из наиболее многопереходных – шерстяное производство.

Процессы первичной обработки шерсти и прядения являются важнейшими на подготовительных этапах прядильного производства, точки зрения, комплексного необратимого воздействия на многие характеристики (свойства) волокон.

Строение и свойства шерстяного волокна во многом определяют его использование в производстве, разновидность шерстяных изделий и качество. Характеристики составляющих свойств являются отражением технических условий в шерстяном производстве, и определяют качество шерсти на предприятиях первичной обработки шерсти и в прядильном производстве. «Квест-А» – единственное предприятие в России с полным циклом переработки шерсти, начиная от приемки шерсти до производства готовой пряжи. Исходя из этого, предоставляется возможность мониторинга и изучения технологического процесса выработки шерстяной пряжи, начиная с процессов подготовки невыттой шерсти к ее первичной обработке, а также проведения исследования и анализа влияния и зависимости факторов на прочность готовой продукции на каждой стадии производства трикотажной пряжи.

Усовершенствование технологии путем разработки автоматизированного процесса позволяет оказать влияние непрерывной обработки шерсти на прочность в каждом из процессов цикла и автоматизированной системы проектирования и оценки разрывных характеристик шерстяной и трикотажной пряжи.

Разработанная технология позволит применить методику оценки прочности при помощи автоматизированного процесса для пучка параллельных нитей и иных текстильных изделий, получаемых способом прядения или кручения.

Для повышения физико-механических характеристик одиночной нити видится целесообразным изучить процесс получения одиночной нити, начиная с немытой шерсти.

Объект исследования – непрерывная технология первичной обработки и глубокой переработки шерсти.

Предмет исследования – отечественная тонкая шерсть.

Целью диссертационной работы является исследование непрерывной технологии первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой шерсти на базе действующего предприятия влияние процессов обработки шерсти и процесса прядения на характеристики волокон, разработка автоматизированной системы расчета прочности шерстяного волокна, нити и пряжи, определение основных факторов, влияющих на прочность и качество шерсти, от которых зависит динамика и эффективность процессов производства.

Для решения поставленных целей были определены задачи:

- анализ существующих теоретических и экспериментальных методов оценки процессов обработки шерсти и процесса прядения, оценка информативности и перспективности результатов для дальнейшего использования;
- изучение физико-механических характеристик массы шерсти и ее изменения в процессах переработки и прядения, а также определение наиболее рациональных методов анализа характеристик;
- проведение планирования и обработки результатов экспериментов для определения оптимальных видов распределений свойств отечественной тонкой шерсти и оценки их изменения в процессах переработки и прядения;
- разработка системы обработки результатов прочностных характеристик и свойств волокнистого сырья, нитей и шерстяной трикотажной пряжи на разных этапах производства и построение на их основе модели преобразования распределения этих свойств.

– разработка методики расчета и оценки прочности нити и шерстяной трикотажной пряжи. Исследования вопроса применения разработанной технологии смежных областях.

Методы исследования

В работе использованы различные методы проведения и обработки результатов экспериментов, проектирование технологического процесса непрерывной технологии переработки шерсти, проектирование математической модели, методы компьютерно-статистического моделирования, теории вероятностных процессов и разработки автоматизированной системы.

Научная новизна работы заключается в:

– исследовании развития рынка шерсти и прогноз объемов производства шерсти с учетом различных факторов в Карачаево-Черкесской республике. Оценке возможностей для развития производства отечественной тонкой шерсти и шерстяной трикотажной пряжи;

– анализе факторов, влияющих на прочностные характеристики волокнистой массы шерсти и динамику изменений структуры волокон на предприятии с непрерывной технологией переработки отечественной тонкой шерсти по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа»;

– разработке методов оценки влияния факторов на прочность волокон (ленты, шерстяной пряжи) на каждом этапе непрерывной технологии переработки шерсти;

– разработке комплекса алгоритмов для компьютерного моделирования оценки прочности шерстяной нити и пучка параллельных нитей;

– разработке компьютерных моделей для статистического моделирования различных схем и различными методами оценки прочности шерстяной нити и пучка параллельных нитей позволили установить взаимосвязь между прочностью и составляющими свойствами нити;

– разработке автоматизированной системы проектирования и оценки разрывных характеристик шерстяной нити и шерстяной трикотажной пряжи;

– исследовании возможности применения разработанной автоматизированной системы, в исследовании вопросов прочности крученых и плетеных изделий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработаны методы оценки и расчета прочностных характеристик в процессе обработки отечественной тонкой шерсти и при производстве шерстяной трикотажной пряжи.

Применена методика расчетов выхода чистой шерсти и шерстяной ленты в непрерывном технологическом процессе по международным стандартам IWTO.

Разработанные в диссертации автоматизированные системы и модели компьютерного моделирования позволяют выбрать оптимальные условия технологических режимов различных процессов при разработке и усовершенствовании непрерывной технологии переработки отечественной тонкой шерсти по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа». В сфере переработки шерсти и на предприятиях прядения созданное программное обеспечение будет эффективным инструментом анализа уровня качества и прочности вырабатываемого изделия, а также в выборе оптимальных технологических условий.

Улучшение механических характеристик шерсти в производстве трикотажной пряжи по циклу немытая шерсть – трикотажная пряжа. Оценка факторов, влияющих на характеристики шерсти на каждом этапе производства шерстяной трикотажной пряжи.

Разработки и рекомендации автора в диссертации, были использованы при выборе технологических режимов переработки шерсти и производстве шерстяной трикотажной пряжи на предприятии ООО «Квест–А».

Достоверность результатов и проведенных исследований подтверждается большим объемом проведенных исследований применением предложенных методов и способов исследования, апробацией основных положений диссертационной работы в научных изданиях и на конференциях.

Личный вклад соискателя. Основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены автором лично. Автор самостоятельно провел

анализ влияния и зависимости факторов на прочность и качество, шерстяного волокна и шерстяной пряжи на каждой стадии производства трикотажной пряжи, разработал методику и алгоритм моделирования расчета выхода топса из немытой тонкой отечественной шерсти отвечающими международным стандартам IWTO и разработал системы компьютерного расчета прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи, пучка (пасмы) параллельных нитей и крученых изделий в зависимости от свойств составляющих их прядей.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

– на международном лектории, посвященном 30-летию кафедры «Системы автоматизированного проектирования и информационные системы» Воронежского государственного технического университета и памяти ведущих ученых в области САПР (2014, ВГТУ, Воронеж);

– на международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2014, 2015, МГУДТ, Москва);

– на международной научно-практической конференции «Наука сегодня: Постулаты прошлого и современные теории» (2015, «Академия Бизнеса», Саратов).

– на XVIII международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития» (2015, Саратов);

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 13 работ, из которых 5 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, 3 статьи в других изданиях, 5 тезисов докладов в сборниках материалов научных конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 158 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, общих выводов по работе, списка используемой литературы из 137 наименований, 3 приложений, 46 рисунков и 28 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТОНКОЙ ШЕРСТИ

1.1 Анализ предметной области исследования

В Карачаево-Черкесии, где традиционно разводят овец различных направлений продуктивности, непосредственно граничащей со Ставропольским краем, где производится до 40% тонкой шерсти Российской Федерации, построен производственный комплекс, с использованием горячих источников вблизи региональных трасс.

Вопросы формирования и развития межрегионального и всероссийского рынков шерсти наиболее актуальны для Карачаево-Черкесской республики. Для данного региона, овцеводство является одним из важнейших элементов составляющей агропромышленного комплекса, что напрямую связано с традициями местного населения. Карачаево-Черкесская республика существует возможность активного развития производства отечественной тонкой и полутонкой шерсти.

Необходимо изучить вероятные направления развития рынка шерсти в Карачаево-Черкесской республике и Ставропольском крае. Ситуации и факторы на рынке шерсти, которые присутствуют в большинстве регионов Российской Федерации, характерны и для Карачаево-Черкесской республики и Ставропольского края. На данный момент в регионе Карачаево-Черкесской республики существуют проблемы в части реализации невымытой овечьей шерсти. Такие факторы как высокий уровень затрат на производство шерсти и недостаток средств на производство оказывают значительное влияние на снижение объемов производимого продукта. Уровень развития рынка оказывает существенное влияние производственный процесс производства отечественной шерсти всех организаций и предприятий отрасли, и определяет важнейшие межотраслевые пропорции и макроэкономические показатели.

В ходе исследований, было выявлено, что основной проблемой развития рынка шерсти является ее неразвитая инфраструктура и отсутствие инструментов для ее развития. Система сбыта шерсти в Карачаево-Черкесской республике характеризуется общими факторами, сложившимися на российском рынке, которые оказывают негативное влияние на развитие рынка шерсти и его экономическую составляющую. За исключением этих факторов, базовая инфраструктура производства шерсти в Карачаево-Черкесии может послужить достаточным основанием развития овцеводства и производства качественной тонкой шерсти в регионе. Большой объем сбыта в регионе предлагают немытую и неклассированную шерсть, что в следствии, только снижает цену сырья. В целях определения тенденций развития рынка шерсти на ближайшую перспективу был выполнен прогноз объемов производства шерсти с учетом различных факторов.

Анализ формирования и развития рынка шерсти в субъекте Российской Федерации был осуществлен в [27]. На сегодняшний день, большая доля получаемого шерстяного сырья в частном производстве шерсти, остается невостребованной. Образовавшаяся ситуация на рынке сбыта шерсти обусловлена общим кризисом шерстеперерабатывающего производства и отсутствием полноценных точек сбыта. В качестве такой точки может выступать предприятие по первичной обработке шерсти и дальнейшей ее переработке.

Многообразие видов и исключительные свойства производимой шерсти позволяют находить множество различных направлений ее применения при выработке конечной продукции. При этом в качестве факторных признаков были использованы объем реализации шерсти и поголовье овец в Карачаево-Черкесской республике за последние годы.

В целом наибольшая доля производства шерсти во всех категориях хозяйств и в сельскохозяйственных организациях приходится на Северо-Кавказский и Южный федеральный округ.

Несмотря на то, что овцеводство продолжает находиться в сложном состоянии, и произошло снижение общей численности овец в сельскохозяйственных организациях, в России имеются положительные тенденции в развитии отрасли в ряде регионов [27].

За 2017 год в хозяйствах Карачаево-Черкесской республики насчитывалось 1112,5 тыс. общего поголовья, в сельскохозяйственных организациях 213,5 тыс. В хозяйствах Ставропольского края насчитывалось 1989 тыс. общего поголовья, в сельскохозяйственных организациях 304,5 тыс.

Из них, овец тонкорунной и полутонкорунной породы в обоих регионах насчитывается около 260 голов.

За 2017 год в Карачаево-Черкесской республике было произведено 1566 тонн невыттой шерсти различного качества.

Весь объем состриженной шерсти, распределяется для ПОШ в различные регионы, что является экономически невыгодным и является весьма затратным временным процессом.

Развитие производства первичной обработки шерсти в данном регионе является важным вопросом, т.к. послужит экономическим толчком для региона, который способен производить столь большой объем невыттой шерсти.

В Карачаево-Черкесской республике создано предприятие «Квест-А», на котором происходил процесс изучения и анализа переработки шерсти, и производства шерстяной пряжи. «Квест-А» – единственное предприятие в России с полным циклом переработки шерсти, от приемки шерсти до производства пряжи и трикотажных изделий. Исходя из этого, существует возможность отследить весь процесс изготовления изделия, начиная от сортировки шерсти, а также провести исследования и проанализировать влияние и зависимость факторов на технологию производства трикотажной пряжи на каждой стадии производства.

При использовании объективного метода подготовки настрига возникает возможность увеличения объемов партии невыттой шерсти, что, в свою очередь, приводит к экономическому эффекту при организации процессов стрижки, классировки, лабораторных испытаний шерсти при ее подготовке к продаже.

Практическая значимость изучения и развития данного вопроса заключается в том, что разработанные методики оценки влияния факторов технологического процесса на характеристики шерсти и разработанные автоматизированные системы статистического моделирования характеристик шерстяной пряжи позволяют улучшить качество производимого продукта, а также сократить время на

анализ основных показателей шерсти в лаборатории. В свою очередь, устойчивость рынка дает возможность развиваться производству.

Таким образом, вопрос о развитии производства первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой и полутонкой шерсти является очень важным в отрасли легкой промышленности в Карачаево-Черкесской республике и Ставропольского края.

1.2 Характеристики шерстяного волокна

Тонина (толщина) шерстяного волокна является основным признаком шерсти, определяющим ее технологическую ценность. Это свойство волокна положено в основу большинства классификаций и стандартов на шерсть.

Тониной (толщиной) шерсти называют размер среднего диаметра шерстяного волокна. Тонину выражают в микрометрах ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$).

Различные типы волокон шерсти имеют разную тонины:

- пуховые — до 30 мкм;
- переходные – от 30 до 52,5 мкм;
- остевые тонкие – от 52,5 до 75 мкм;
- остевые средние – от 75 до 90 мкм;
- остевые грубые – свыше 90 мкм.

Обозначение тонины волокон шерсти производится в качествах и пришло в отечественную терминологию от разработанной в XIX веке в Англии брэдфордской классификации шерсти [57].

В работах проф. Разумеева К.Э., проф. Плеханова А.Ф. [57] были рассмотрены методы испытаний шерсти и методы инструментальной оценки прочности и места разрыва штапелей невыттой шерсти, а также методы инструментальной оценки прочности волокон мытой шерсти. Представляется необходимым использовать установленные методы оценки прочностных характеристик при рассмотрении данного вопроса отраслевыми организациями [57].

Деление однородной шерсти по качествам на классы тонины сохранилось и в действовавшей до 2002 года в России и странах СНГ классификации шерсти, разработанной Научно-исследовательским институтом шерстяной промышленности (НИИШ, ЦНИИШерсти, ныне – ООО НПК «ЦНИИШерсть») в 1937-39 гг.

Таблица 1 – Классификация шерсти по тонине

| Качество (класс тонины) | Тонина волокон, мкм | |
|-------------------------|---------------------|------|
| | от | до |
| 80к | 14,5 | 18,0 |
| 70к | 18,1 | 20,5 |
| 64к | 20,6 | 23,0 |
| 60к | 23,1 | 25,0 |
| 58к | 25,1 | 27,0 |
| 56к | 27,1 | 29,0 |
| 50к | 29,1 | 31,0 |
| 48к | 31,1 | 34,0 |
| 46к | 34,1 | 37,0 |
| 44к | 37,1 | 40,0 |
| 40к | 40,1 | 43,0 |

Более подробно с научно-технической классификацией шерсти можно ознакомиться в учебном пособии проф. Гусева В.Е. [22].

В [57] описан весь процесс определения тонины шерсти. Определено, что в процессе определения среднего показателя тонины, определяется и коэффициент вариации по тонине.

Рассмотрен вопрос целесообразности классировки и сортировки шерсти, когда неровнота по тонине волокон может быть уменьшена не более чем на $(16+4)/2 = 10\%$ [57].

В таблице 2 из работы [57] приведены данные о взаимосвязи между извитостью и тониной (средним диаметром волокон) меринской и кроссбредной шерсти.

Таблица 2 – Извитость и тонина шерсти

| Диапазон значений среднего диаметра волокон, мкм | Тонина шерсти | Число извитков на 1 дюйм длины волокон, мкм |
|--|---------------|--|
| не грубее 19,5 | 18,8 | 18,5 |
| 19,5 – 21,1 | 20,3 | 16,7 |
| 21,1 – 22,8 | 22,0 | 12,5 |
| 22,8 – 24,7 | 23,8 | 10,5 |
| 24,7 – 26,8 | 25,8 | 8,5 |
| 26,8 – 29,1 | 28,0 | 6,5 |
| 29,1 – 31,6 | 30,4 | 4,7 |

Как видно из таблицы 2, однородная тонкая/полутонкая шерсть имеет непосредственную взаимосвязь между извитостью и тониной волокон: от размера извитков по длине волокна зависит тонина шерсти. Чем меньше извитки, тем меньше тонина шерсти.

Установлено, что тонкая/полутонкая шерсть с меньшими показаниями извитости будет более упругой, эластичной и прочной [57].

Длина шерсти – один из определяющих физико-механических параметров шерсти. Длину шерсти определяют, как естественную и истинную. Естественная длина – длина шерсти в распрямленном, но не растянутом состоянии. Истинная длина – длина шерсти в расправленном от извитости состоянии.

Определена непосредственная взаимосвязь между длиной и тониной шерсти.

В таблице 3 приводятся данные о взаимосвязях между длиной шерсти с ее тониной и извитостью для основных тонкорунных пород нашей страны [57].

Таблица 3 – Длина, тонины и извитость шерсти тонкорунных пород

| Порода овец | Тонина в качествах | Длина шерсти, мм | | Истинная длина в % к естественной |
|-------------------|--------------------|------------------|----------|-----------------------------------|
| | | Естественная | Истинная | |
| Кавказская | 70к | 68,0 | 101,3 | 149 |
| | 64к | 79,0 | 98,0 | 124 |
| | 60к | 84,0 | 108,7 | 129 |
| Советский меринос | 70к | 86,6 | 113,0 | 130 |
| | 64к | 92,0 | 114,3 | 124 |
| | 60к | 84,6 | 106,4 | 126 |
| Ставропольская | 70к | 74,0 | 98,2 | 133 |
| | 64к | 77,3 | 100,5 | 130 |
| | 60к | 86,0 | 108,1 | 126 |

Из приведенной таблицы 3 видно, что показатель истинной длины шерсти в среднем выше на 120-150% естественной длины.

Еще одно из важных свойств шерсти, которое в дальнейшем влияет на его прочность, является равномерность (неровнота) по длине шерсти.

На предприятии «Квест-А», в процессе исследования в лаборатории анализируются результаты по шести различным свойствам шерсти (тонины, длина, крепость, процент выхода чистой шерсти, наличие сора, минеральные примеси).

В учебнике [108] описан предметный способ анализа шерсти на стадии первичной обработки шерсти. Описанный порядок действий применим для изучения технологического процесса переработки отечественной тонкой шерсти по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа».

В частности, описанный отбор и дальнейшее исследование штапелей шерсти на длину и крепость применялся в лаборатории на предприятии «Квест-А». После того, над проверяемыми образцами произведены все процессы исследования: потеря влаги шерсти, температура сушки, взвешивание шерсти, берутся подобразцы для чесания и измерения тонины шерсти.

1.3 Особенности технологического процесса первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой и полутонкой шерсти

Технологический процесс первичной обработки шерсти с использованием водных растворов состоит из рыхления и трепания невымытой шерсти, замачивания и мойки с последующим высушиванием мытой шерсти. Основопологающей задачей первичной обработки шерсти (ПОШ) является достижение максимального сохранения естественных свойств шерстяного волокна.

В соответствии технологическим процессом на предприятии с производством продукции по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа» в ПОШ участвуют следующие процессы: трепание, рыхление, мойка шерсти, сушка шерсти. Схема работы предприятия по технологии «немытая шерсть – трикотажная пряжа» и сравнение со стандартной технологией переработки и прядения шерсти представлены на рисунке 1.

Прежде чем приступить к мойке шерсти в моющих растворах, ее необходимо подвергнуть трепанию с целью удалить крупные растительные примеси [22].

В процессе рыхления отечественной тонкой шерсти происходит отделение частей руна и объемных клочков на мелкие. При дальнейшем трепании разрыхленные клочки при ударах разбиваются на более мелкие части.

Высокая степень разрыхления мериносовой тонкорунной шерсти приводит к рассыпанию, перепутыванию и уменьшению длины волокон.

На следующем этапе шерсть поступает на мойку, где волокна шерсти очищаются от жира и растительных примесей с помощью моющих средств и минеральной воды.

Последним процессом в ПОШ является сушка шерсти. Один из важнейших процессов, так как при выборе неоптимальных технологических условий, на волокна шерсти может быть оказано чрезмерно негативное влияние.

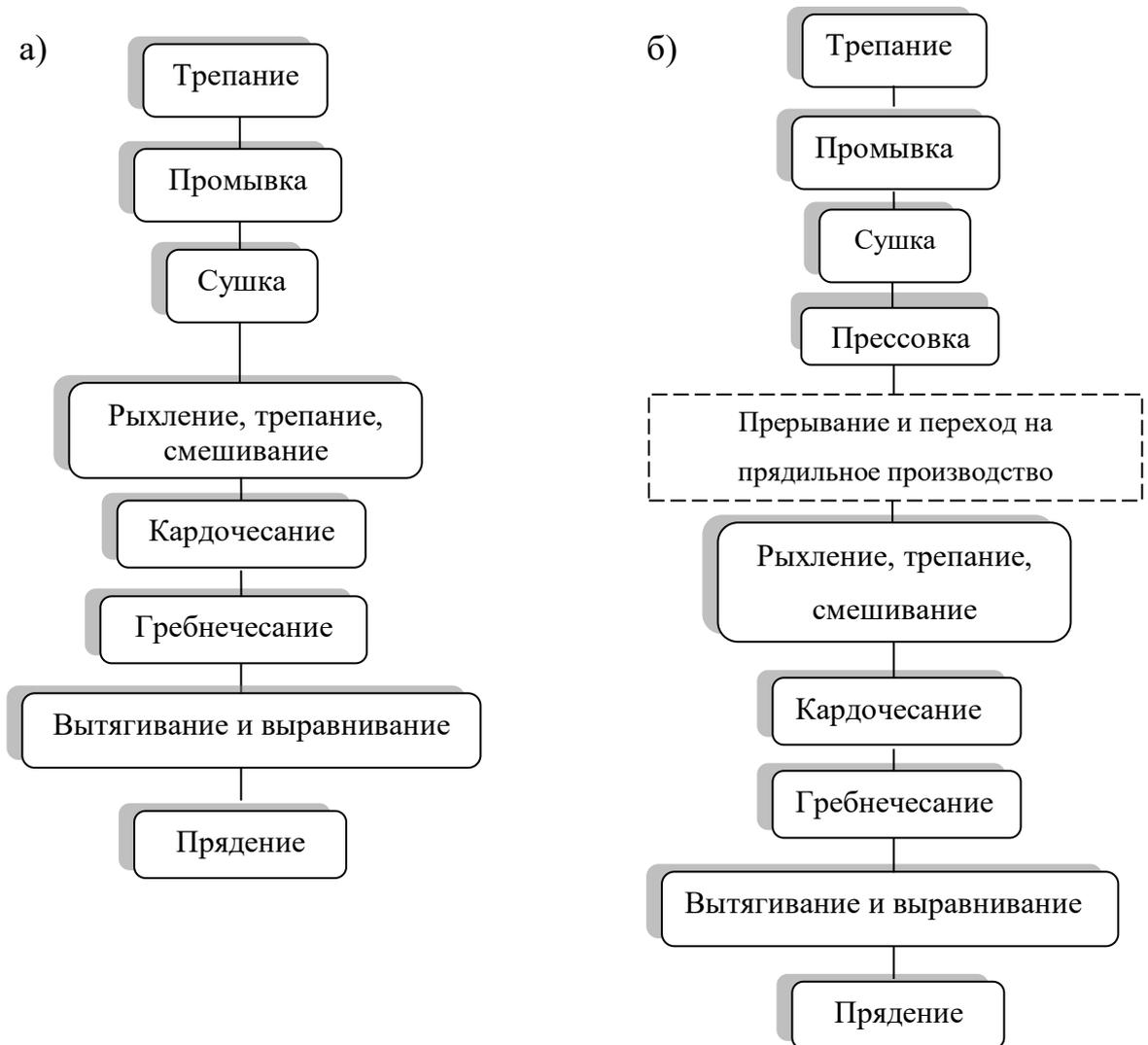


Рисунок 1 – Схема работы предприятия по технологии «немытая шерсть – трикотажная пряжа» и сравнение со стандартной технологией переработки и прядения шерсти:

а) Технология переработки шерсти по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа»; б) Стандартная технология переработки и прядения шерсти;

В своих работах проф. Разумеев К.Э. определил прямую взаимосвязь между длиной штапелей немытой шерсти и их же разрывной нагрузкой [62, 65, 55, 53].

В процессе крутки в несколько сложений одиночной пряжи существует возможность повлиять физико-механические характеристики пряжи. В числе этих свойств стоит выделить: разрывную нагрузку, равномерность, удлинение, эластичность, равновесность.

Следовательно, цель процесса кручения состоит в том, чтобы не только придать изделию нужный вид, но и повлиять его прочность и качество.

Для получения равномерной крученой пряжи требуемых свойств и однородного вида необходимо, чтобы скручиваемые нити имели одинаковое натяжение, равномерно обвивали друг друга, а винтовые линии, по которым они располагаются, имели одинаковый шаг. В случае неравномерного натяжения скручиваемых нитей слабо натянутые нити могут обвивать натянутые сильнее, что неизбежно приведет к возникновению пороков крученой пряжи.

При скручивании шерсти при шести и более составляющих конструкция нити получается или полый, то есть неустойчивой, или же одна из нитей должна занять центральное положение. Центральная нить получит при скручивании меньшее натяжение, чем другие, и будет вытеснена из центрального положения одной из более сильно натянутых нитей. Произойдет нарушение структуры крученой пряжи, которое будет систематически повторяться [33].

1.4 Анализ работ по проектированию прочности шерсти и шерстяной пряжи

Структура одиночной пряжи имеет неустойчивость и неоднородность по своим физико-механическим свойствам. При крутке одиночных нитей можно получить крученую пряжу заранее заданной структуры и обладающую определенными потребительскими свойствами как это приведено в [42].

Под прочностью понимают то усилие, которое необходимо для разрыва отдельного волокна или пучка волокон. Принято определять абсолютную и относительную прочность. Абсолютная прочность определяется затраченным усилием на разрыв и выражается в ньютонах, дека или сантиньютонах (Н, дН или сН) [102].

Относительную прочность характеризует величина разрывного усилия, приходящаяся на единицу толщины (линейной плотности) волокна или пучка, выражается в Н/текс или сН/текс (1 текс = 1 г/км).

Абсолютная прочность одиночного волокна при равных условиях зависит от тонины. В таблице 4 представлены данные [55] о взаимосвязи прочности и тонины одиночных волокон.

Таблица 4 – Взаимосвязи прочности и тонины одиночных волокон

| Тонина, мкм | Абсолютная прочность, сН |
|-------------|--------------------------|
| менее 18 | от 3,9 до 5,6 |
| 18-20 | от 5,6 до 6,9 |
| 20-22 | от 7,2 до 8,5 |
| 22-24 | от 7,6 до 9,4 |
| 24-26 | от 9,2 до 11,5 |
| 26-30 | от 13,0 до 16,5 |
| 30-37 | от 16,2 до 22,4 |
| 37-45 | от 28,7 до 37,9 |
| 45-60 | от 38,5 до 47,5 |
| более 60 | от 50,3 до 62,0 |

Из результатов, полученных в работе [55], можно сделать вывод, что тонина шерсти пропорциональна к абсолютной прочности.

Исходя из работы [55] можно сделать вывод, что интервал варьирования абсолютной прочности для шерсти овец породы меринос – 7-9 км. Интервал варьирования для остальных пород приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Интервалы варьирования абсолютной прочности шерсти

| Порода овец и половозрастная группа | Абсолютная прочность, км |
|--|--------------------------|
| Грозненская, бараны-производители | 8,06-9,36 |
| Кавказская, бараны-производители | 7-9 |
| Североказахский меринос, бараны-производители | 8,1-10,0 |
| Южноказахский меринос, бараны-производители | 5,8-9,6 |
| Прекос, бараны (60к) | 6-7 |
| Мясо-шерстные овцы горный корридель, бараны | 9,98-11,08 |
| Ромни-марш, бараны | 10-12,0 |
| Куйбышевская, ярки 14 мес. | 10,8-12,6 |
| Русская длинношерстная (калининский тип), бараны | 12-14,0 |

Определены прочностные характеристики тонкой и полутонкой шерсти. Разрывная длина тонкой шерсти составляет не менее 7–7,5 км, полутонкой – 8,0 км. Удлинение тонкой шерсти составляет 33-35%, полутонкой - 37-46%;

Определение прочности пряжи аналитическими методами проведено в работах проф. Щербакова В.П. и проф. Скулановой Н.С.[112-115].

В своей работе [31, 32] Корицкий К.И. предлагает использовать для расчета прочности одиночной пряжи следующую формулу:

$$P_{\text{пр}} = p_{\text{в}} \cdot m_0 \left[1 - \frac{0,18 \cdot 10^{-3} p_{\text{в}} N_{\text{в}} G_{\text{в}} (n_{\text{в}0} - n'_{\text{в}0}) k_{\text{ф}}}{\mu \cdot L_{\text{в}} \cdot E_{\text{н}} \cdot \varepsilon_i \cdot \sqrt{G_{\text{в}}} \cdot \sqrt{N_{\text{в}} \cdot \sin^2 \beta}} \right] \quad (1.1)$$

где: $P_{\text{пр}}$ – разрывная нагрузка пряжи;

$p_{\text{в}}$ – разрывная нагрузка волокна;

$n_{\text{в}0}$ – число волокон в поперечном сечении нити;

$(n_{\text{в}0} - n'_{\text{в}0})$ – число волокон во внутренних слоях нити;

$N_{\text{в}}$ – номер волокна;

$G_{\text{в}}$ – удельная масса волокна; в

$k_{\text{ф}}$ – коэффициент формы поперечного сечения;

$E_{\text{н}}$ – начальный модуль упругости;

ε_i – относительное удлинение волокна при крутке нити;

μ – коэффициент трения волокна;

$L_{\text{в}}$ – длина волокна.

Приведенная формула сложная для определения показателей в применении инженерных задач и имеет некоторые недостатки: в сложности определения числа волокон во внутренних слоях нити, коэффициента формы поперечного сечения и начального модуля упругости.

В своей работе Винтер Ю.М. рассматривает вопрос определения средней длины волокна в пряже [18].

Приведена зависимость, полученная с помощью использования гамма-распределения волокон по длине – изменение отношения положения максимума спектральной плотности дисперсии (СПД) средней длины волокон к коэффициенту вариации волокон по длине.

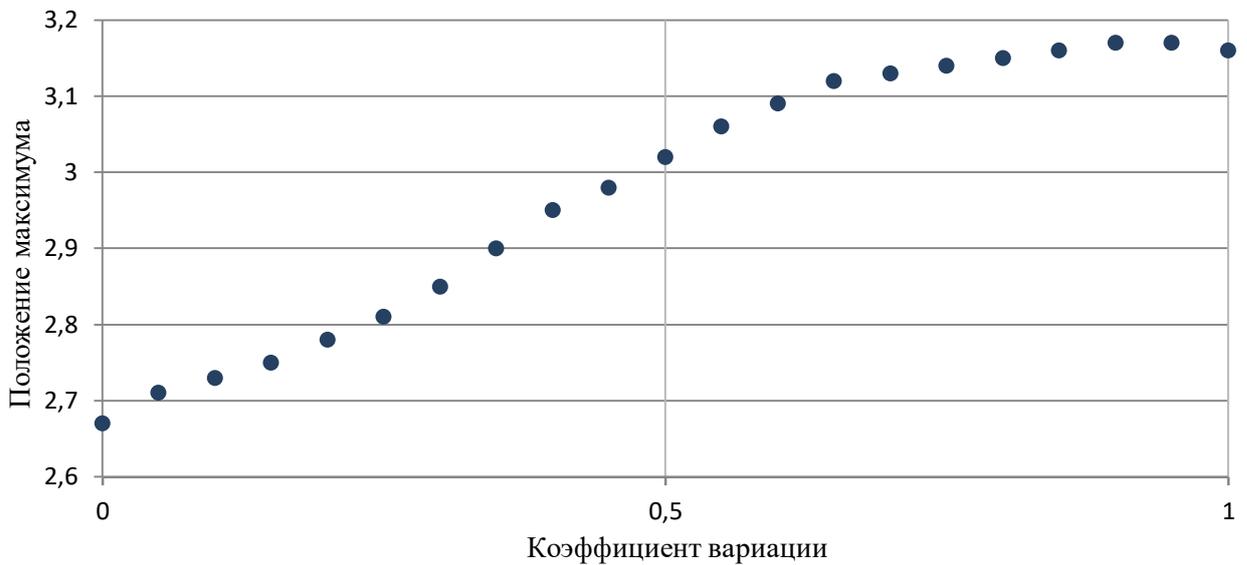


Рисунок 2 – Отношение максимума спектральной плотности дисперсии длины волокон к коэффициенту вариации

Из графика видно, что, при изменении CV с 0,05 до 0,95, то есть в 19 раз положение максимума изменится с 2,7 до 3,18, в то время как такое же изменение средней длины привело бы к изменению положения максимума тоже в 19 раз. Из статьи следует, что Винтер Ю.М. доказал возможность неразрушающего определения средней длины волокна в пряже по отсчетам ее линейной плотности, а также разработал компьютерную программу определяющую среднюю массовую длину волокон в пряже.

Для проектирования прочностных свойств одиночной пряжи наиболее достоверными, применимыми в реальных условиях, являются расчетно-эмпирические формулы проф. Соловьева А.Н. [97, 98, 99] и проф. Корицкого К.И.[31, 32], регрессионные уравнения проф. Разумеева К.Э [62, 65, 55, 53] и аналитические методы проектирования прочности пряжи и нити проф. Щербакова В.П., проф. Скулановой Н.С. [112, 113, 114].

В своей работе [97, 98, 99] профессор Соловьев А.Н. идеальную пряжу принимает при условии, если она была бы равномерной и все составляющие ее волокна обладали одинаковой прочностью и удлинением. В таком случае, разрывная длина пряжи равнялась бы разрывной длине волокна при полном использовании прочности волокна в прочности пряжи. Формула Соловьева А.Н. объясняет основные факторы, определяющие прочность пряжи: прочность

волокон, число волокон в пряже, неравномерность пряжи по линейной плотности, крутка, длина волокон, скольжение волокон конечной длины при нагружении. Данная формула является достаточно простой и надежной для прогнозирования разрывной нагрузки пряжи, метод Соловьева А.Н. получил распространение не только в хлопчатобумажной отрасли, но для определения прочности пряжи из других волокон с соответствующими поправочными коэффициентами.

В работе автора и проф. Разумеева К.Э. [62, 2] получены математические модели для проектирования относительной и абсолютной разрывной нагрузки шерстяной гребенной пряжи для дальнейшего прогнозирования длины волокон.

В статье [104, 105, 106] Толубеева Г.И., Романычев Н.К., Маховер В.Л. были изучен вопрос определения прочности хлопчатобумажной пряжи. Также, была спроектирована методика расчета и алгоритм определения прочности хлопчатобумажной пряжи. Спроектированные методика и алгоритм были использованы в разработке компьютерной системы для оперативного вычисления прочности, что в дальнейшем позволило рассчитать разрывную нагрузку крученной пряжи. Описанные методики и алгоритмы были применены и рассмотрены только для хлопчатобумажной и смесовой пряжи, но могут ли они быть использованы для определения показателей прочности крученной чистошерстяной пряжи пока не выяснялось.

В диссертации Поповой Е.Р. на соискание ученой степени кандидата технических наук [49], рассмотрен вопрос и разработан в среде MathCAD и MathLAB научно обоснованный метод теоретического расчета прочности скрученной камвольной пряжи для различных составов смесей и основных групп классификации камвольных смесей ОАО НПК «ЦНИИШерсть». Так как рассмотрен вопрос пряжи только для различных составов смесей и конечного полученного продукта готовой пряжи. Рассмотрен и разработан план прядения с оптимальной нагрузкой, но не рассмотрен вопрос влияния на прочностные характеристики волокна шерсти при ПОШ и дальнейшем процессе на предприятии с непрерывным циклом получения пряжи.

1.5 Исследование характеристик и расчета прочности крученой нити и крученых изделий

Под прочностью такого изделия, как трикотажная пряжа, понимается то усилие, которое необходимо для его разрушения при растяжении. Поскольку трикотажная пряжа сформирована из ряда элементов (прядей, каболок, нитей и т.д.), необходимо, прежде всего, оговориться об условиях разрушения изделия, исходя из условий разрушения составляющих его элементов [12]. Трикотажная пряжа, сформированная без каких-либо нарушений структуры и состоящая из совершенно одинаковых элементов, то есть разрушение такого изделия происходит при одновременном разрыве всех элементов.

Значительный разброс сроков службы и наработок трикотажной пряжи обусловлен непостоянством эксплуатационных нагрузок, неоднородностью механических свойств нити и неравномерностью натяжения прядей в крученых изделиях. На работоспособность трикотажной пряжи примерно одинаково влияют условия эксплуатации и его качество.

Основные характеристики трикотажной пряжи: прочность, гибкость, равновесность (отсутствие внутреннего крутящего момента относительно оси изделия при различных внешних воздействиях), высокая износоустойчивость, малый вес, высокий коэффициент использования волокна в готовом изделии и др.

Прочность зависит от типов структуры, строения и конструкции пряжи. Основная суть – спроектировать структуру трикотажной пряжи таким образом, чтобы максимально полно задействовать прочность каждой нити.

Каболки (группы скрученных нитей, которые составляют пряди трикотажной пряжи) расположены практически параллельно крученым изделиям. Коэффициент использования прочности исходных нитей достаточно высок. Однако, на срезе трикотажной пряжи хорошо видно, что остаются значительные «пустоты», которые можно бы было заполнить нитями, а значит и увеличить прочность трикотажной пряжи. Но конструкция трикотажной пряжи сделать это не позволяет. Поэтому, такой тип пряжи имеет среднюю «полезную» прочность.

Один из самых распространенных видов трикотажной пряжи без сердечника. Есть градация по типам: L-тип, со сдвоенными прядями. С ростом числа прядей «полезная» прочность трикотажной пряжи данной категории уменьшается (на срезах изделия будут значительные пустоты в центре). Кроме того, с увеличением количества прядей увеличивается угол наклона нитей – т.е. под нагрузкой возникают не только продольные, но и поперечные напряжения. В данной подгруппе пряжа L типа – имеют хорошую «полезную» прочность.

Прочность трикотажной пряжи зависит от большого числа факторов - качество исходного материала, типа изделия и соблюдение технологий при его изготовлении, условия эксплуатации и правильный подбор материала или типа изделия под эти условия.

Решение проблем повышения износостойчивости, улучшения других физико-механических и эксплуатационных свойств пряжи, а также повышения коэффициента использования прочности сырья в изделиях может осуществляться как путем поиска оптимальных параметров крутки элементов и изделия в целом в рамках существующих структур, так и разработки новых структур трикотажной пряжи.

Для улучшения технологии получения шерстяной трикотажной пряжи, и повышения качества продукта на выходе, необходимо выявить недостатки в существующей технологии, и определить возможные варианты их устранения.

Для исследования прочности трикотажной пряжи, необходимо определить прочность пучка нитей. Изучение прочности пучка волокон и составляющих его нитей было исследовано в работе Онищенко Д.А.[44] на основании работы Н. Daniels [117] относящейся к текстильным нитям.

За редким исключением, наибольшую полезную прочность дают изделия с сердечниками (например, пряжа двойного кручения, трикотажная пряжа с параллельными сердечниками). Однако, такая трикотажная пряжа более сложна в изготовлении, чем крученая.

На данный момент, отсутствуют методы, которые позволяют определить прочностные показатели шерстяной нити, пучка нитей, учитывающих неравномерность их характеристик и свойств. Также, отсутствуют методы расчета

прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи, учитывающих неравномерность механических характеристик (кривых нагрузки – удлинение), неравномерность их свойств и тем более автоматизированных систем их расчета.

Исходя из этого, необходимо разработать методы расчета, методы моделирования и автоматизированную систему определения прочностных характеристик шерстяной нити, пучка нитей и трикотажной пряжи.

Изучением структуры и проектированием прочности трикотажной пряжи, исходя из свойств элементов, занимался целый ряд исследователей. В частности, в работах Корицкого К.И. [31,32], Разумеева К.Э [61, 62], Дверницкого И.М. [21, 23], Зотикова В.Е., Будникова И.В., Трыкова П.П. [26], Забелина В.А. [24] и других, рассматривались вопросы, связанные с коэффициентом использования прочности крученых нитей и прядей, исследовалось влияние различных параметров формирования на свойства изделий и полуфабрикатов.

Соловьев А.Н. [98, 99], Соколов Г.В. [94], Белицын М.Н. [4], Гинзбург Л.Н. и Дверницкий И.М. [21] исследовали распределение напряжений в крученых нитях при их растяжении с учетом напряжений, возникающих в процессе кручения. Исследованием геометрических свойств и структурных характеристик трикотажной пряжи – Фейман Н.И. [109], Комаров В.Г. [30].

Вопросы, связанные с производством плетеных изделий, изложены в работе Меламеда Л. Г. [61]. Рассмотрены некоторые вопросы теории прочности, а также особенности формирования крученых прядей и проектирование свойств плетеных изделий.

Задача проектирования прочности трикотажной пряжи исследовалась также в работах Мамцева Е.Н., Пахнова М.Н. [39].

В своей диссертации на соискание докторской степени Степанов С. Г. [101] в основу своей теории закладывает законы нелинейной механики гибких нитей. На основе этих законов была выведена теория формирования нити. В соответствии с теорией были разработаны математическая модель строения одиночной нити, методика расчета прочности одиночной нити и исследование влияния различных факторов на прочность. Был осуществлен расчет прочности одиночной нити и влияние различных факторов на прочность.

Методику расчета, прогнозирования параметров формирования нити и исследования влияния на них различных факторов рассматривал в своей работе Белов Е.Б.[5]. В исследовании был рассмотрен вопрос изменения нити в процессе крутки. Разработаны различные методики оценки поведения нити в процессе кручения.

В своих работах [74-83] Севостьянов П.А. и др. рассматривают компьютерные модели, позволяющие осуществить взаимосвязь между удлинением и сопротивлением пучка однородных нитей, математические методы обработки данных и компьютерное моделирование этих задач. Если эта зависимость известна для отдельных нитей пучка, и с учетом статистического разброса разрывной нагрузки и разрывного удлинения нитей с целью перейти от аналитических моделей к компьютерному моделированию был разработан и программно реализован алгоритм моделирования поведения пучка при удлинении, в котором реализованы четыре направления усложнения модели:

- отличие упругой деформации нитей от закона Гука;
- неоднородность нитей в пучке;
- корреляция между разрывным удлинением и разрывной нагрузкой нитей;
- статистический разброс параметров и характеристик деформации нитей и его проявление в свойствах пучка;

В работах [6-12] в полной мере изучены вопросы современных технологий изготовления шерстяной гребенной ленты. Исследованы вопросы возможности применения методов компьютерного моделирования и автоматизированного анализа шерстяных волокон и шерстопрядения. Разработанные методики и полученные результаты прогнозирования характеристик шерстяных волокон могут быть применимы для исследования и разработки методики и автоматизированной системы прогнозирования прочности шерстяных волокон и шерстяной трикотажной пряжи, полученной по непрерывной технологии.

Выводы по первой главе

1. Произведен анализ предметной области исследования. Рассмотрены вопросы формирования и развития межрегионального и всероссийского рынков шерсти, которые наиболее актуальны для Карачаево-Черкесской республики. Существует необходимость усовершенствования непрерывной технологии первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой шерсти, в рамках одного предприятия.

2. Исходя из анализа работ, можно сделать вывод, что процессы переработки отечественной тонкой шерсти на предприятии с полным технологическим циклом занимают определяющую роль в процессе производства шерстяной трикотажной пряжи.

3. Рассмотрены технологические процессы первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой шерсти «в рамках предприятия «Квест-А». Уточнены особенности реализации технологических процессов первичной обработки и прядения шерсти для предприятий, использующих непрерывную технологию. Исследованы характеристики и произведен расчет прочности крученых нитей и крученых изделий.

4. Изучены физико-механические характеристики волокон шерсти и изменения их структуры в процессах переработки и прядения, а также определение оптимальных методов анализа этих характеристик;

5. Выявлены факторы, оказывающие положительное и отрицательное влияние на свойства шерстяного волокна. По результатам исследования, определены оптимальные технологические условия переработки отечественной тонкой шерсти.

6. Определено, что значительный разброс результатов прочности и износостойкости трикотажной пряжи обусловлен непостоянством эксплуатационных нагрузок, неоднородностью механических свойств нити и неравномерностью натяжения прядей в крученых изделиях. На работоспособность трикотажной пряжи примерно одинаково влияют условия эксплуатации и его качество.

7. В исследованиях процессов первичной обработки шерсти, выполненных различными авторами, использованы различные методы обработки результатов экспериментов. Построены сложные математические модели определяющие физико-механические свойства в зависимости от распределения свойств волокон. Определено, что оптимальным в исследовании является метод компьютерного статистического моделирования.

8. Выявлена необходимость разработки методов исследования при помощи компьютерного моделирования и автоматизированной системы, процессов определения прочностных характеристик шерстяной нити, пучка параллельных нитей, шерстяной трикотажной пряжи, учитывающих неравномерность их характеристик и свойств.

ГЛАВА 2. НЕПРЕРЫВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТОНКОЙ ШЕРСТИ

2.1 Технология первичной обработки немытой шерсти. Влияние первичной обработки шерсти на характеристики волокон

Свойства и структура шерстяного волокна определяет его использование на производстве и качество изготавливаемого продукта. Прочностные характеристики свойств шерстяного волокна использованы при определении стандартов (технических условий) при производстве шерстяных изделий и определению качества шерсти на предприятиях первичной обработки шерсти (ПОШ). Для повышения физико-механических характеристик одиночной нити видится целесообразным изучить процесс получения одиночной нити, начиная с немытой шерсти [48].

Рассмотрение технологического процесса обработки шерсти на предприятии «Квест-А»: 10 тонн полутонкой шерсти с тониной 58-56^к (25-29мкм) и длиной 80мм. Поступивший объем шерсти в размере 10 тонн поступает на фабрику для мойки.

Одним из важнейших параметров в цикле первичной обработки шерсти, является определение физико-механических свойств волокон, на основании которых выстраивается дальнейший технологический цикл переработки шерсти

Улучшение показателей свойств поглощения влаги волокнами шерсти, позволяет воде и моющему раствору проникать в волокно, что непосредственно влияет на определения параметров и качества выполнения технологического процесса промывки шерсти [84].

Основное назначение промывки шерсти — получение мытой шерсти с показателями, позволяющими эффективно вести технологический процесс чесания и прядения шерсти. Для этого необходимо, чтобы остаточное пыле- и жиросодержание, остаточное содержание свободной щелочи на волокне всей

партии мытой шерсти находились в пределах допускаемых, чтобы перепутывание и сваливание шерсти, а также повреждения волокна были минимальными.

Для очистки шерсти от примесей и жира и других различных загрязнений, в воду добавляются моющие средства и сода. Воздействие этих элементов напрямую влияет на прочность волокон и их структуру.

В статье [91] Слепнева Е.В., Абдуллин И.Ш., Хамматова В.В., описывают процесс промывки шерсти и взаимодействие химических процессов с кератином шерсти, в результате которого образуются трещины в структуре волокна и разрушаются молекулярные связи. В сильнощелочной среде верхушки волокон растворяются, и потеря массы мытой шерсти составляет 1 – 2%.

Волокна шерсти могут сильно растягиваться до 100%. В работе [91] приведено преобразование структуры спирали кератина шерсти. Приведено две формы: α -формы в β -форма. Обе структуры представлены на рисунке 3. Основываясь на результатах исследования, можно отметить, что под действием растяжения, структура волокна переходит из α -формы в β – форму, а после ослабления натяжения структура возвращает первоначальный вид.



Рисунок 3 – Структура спирали кератина шерсти

Структура α и β спирали кератина шерсти: а – α -спираль; б – β -спираль

На прочность шерстяных волокон влияет наличие в кератине шерсти различных межмолекулярных связей. Создание новых межмолекулярных связей в кератине способствует увеличению прочности волокон шерсти, а также снижению способность шерсти к свойлачиванию [91].

В процессе изучения установлено, что в ряде случаев с повышением температуры сушки влажной шерсти волокно больше подвергается усадке. При промывке шерсти волокна, находящиеся во влажном состоянии, в результате механических воздействий вытягиваются на 15-25% и перепутываются с образованием различных петель. В сушильной машине при температуре 90-120°C длина

этих волокон сокращается на 15-20%, в результате чего свойлачиваемость шерсти увеличивается.

Проведен анализ технологического процесса первичной обработки тонкой/полутонкой шерсти в непрерывной технологии на примере работы фабрики «Квест-А» для определения влияния факторов на сырье.

Процесс мойки шерсти «Квест-А» представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Мойка шерсти на предприятии «Квест-А» (фото автора, август 2018 г.)

В соответствии с заданным технологическим режимом промывки шерсть немытую подают непрерывным потоком в моечный раствор первой барки. Переход шерсти из барки в барку происходит последовательно, между барками происходит отжим, за счет чего более загрязненный объем воды не пропускается в более чистую барку. Количество барок в агрегате – 5. Все параметры технологического процесса устанавливаются в зависимости от поступившей шерсти, и от ее характеристик. Чем больше входные характеристики по жиру у шерсти, тем больше соды и моющих средств необходимо использовать во время мойки. Входные данные шерсти по жиру могут колебаться от 7% до 30%. На отжим волокнистая масса подается на отжимные валы сверху вниз и максимально близко к боковой поверхности верхнего вала. После отжима очищенная от загрязнений шерсть с максимальным их удалением из волокна поступает в последующую барку [47].

Для определения необходимого объема смеси моющего средства и воды для мойки шерсти, определяются технологические параметры противотока в барках шерстомойного агрегата. Противоток — это движение моющего раствора в барке агрегата против направления движения промываемой шерсти [51].

Абсолютная величина противотока, л/ч,

$$U = QBCF_{от}(100 - B_0)/[10^4 AF(F_{от} - 1)] \quad (2.1)$$

где Q — производительность агрегата, кг/ч; B — содержание твердых частиц в невытой шерсти перед трепанием, %; C — масса твердых частиц, смываемых в первой барке, % массы твердых частиц в невытой шерсти после трепания; $F_{от}$ — отношение концентрата твердых частиц в растворах первой и второй барок; B_0 — масса твердых частиц, удаленных на трепальной машине, % их первоначальной массы; A — выход чистого волокна: из невытой шерсти, %; F — концентрация твердых частиц, содержащихся в растворе первой барки, кг/л.

Относительная величина противотока, %,

$$\varphi = \frac{100H}{V_1} = \frac{QBC(100-B_0)F_{от}}{10^4 V_1 AF(F_{от}-1)} 100 \quad (2.2)$$

Где V_1 — объем жидкости в первой барке, л.

Откуда:
$$U = \frac{\varphi V_1}{100} \quad (2.3)$$

Модуль ванны — отношение веса жидкости к весу обрабатываемого материала, в барках шерстомойного агрегата можно определить по следующей формуле:

$$M_B = V \delta_p * 60 / (Gt) \quad (2.4)$$

где V — объем раствора, л; δ_p — плотность раствора, г/см³; G — масса шерсти, поступающей в агрегат, кг/ч; t — время пребывания шерсти в ванне, мин.

Итак, шерсть, погруженная в первую барку (замачивающая) моется в температуре 58-60°C с добавлением соды 14-21 кг, соответственно чем больше входные данные по жиру у шерсти, тем больший объем моющих средств необходимо использовать для промывки. Далее, шерсть поступает во вторую барку. Во второй и третьей барках температура промывки шерсти устанавливается в диапазоне 60-63°C. Мойка шерсти осуществляется содой с

добавлением к ней моющих средств. В каждую из барок добавляется не более 5 кг соды и моющих средств. В четвертой и пятой барках идет промывка в чистой воде. При температуре 50°С - в четвертой, и 35-45°С – в пятой.

Таблица 6 – Концентрация моющих растворов в процессе мойки шерсти

| Барка | Температура моющих растворов в С° | Добавки | Вес в кг | Концентрация рН |
|-------|-----------------------------------|------------------------|----------|-----------------|
| 1 | 58-60 | Сода | 14-21 | 7 |
| 2 | 60-63 | Сода и моющие средства | ≤ 5 | |
| 3 | 60-63 | Сода и моющие средства | ≤ 5 | |
| 4 | 50 | - | - | |
| 5 | 35-45 | - | - | |

В первую барку заправляется вода и сода. Добавки производятся только в первую, вторую и третью барку непрерывно. Во вторую и первую барки смесь моющих веществ возвращается противотоком. Для тонкой и полутонкой шерсти с выходом более 50% достаточно в третьей барке поддерживать концентрацию смеси. Замеры температуры раствора и контроль концентрации в барках производится по 2-3 раза за смену и каждый раз, когда в барку добавляются моющие смеси. При замерах, кислотно-щелочное равновесие рН должно находиться в диапазоне от 6 до 8. Если показатели будут ниже 6 – это означает что концентрация уходит в кислотную среду, что будет негативно влиять на волокно. Если показатели будут выше 8, это означает что концентрация уходит в щелочную среду, что так же негативно сказывается на структуру волокна. Для оптимального технологического процесса обработки шерсти кислотно-щелочная среда должна принимать значения равновесия по шкале от 0 до 14. Когда кислотно-щелочная среда принимает значения от 6 до 8, то это наилучший вариант, когда шерсть достаточно эффективно очищается от примесей, но при этом волокно не разрушается.

При промывке шерсти раствором, первую барку необходимо отключить от противотока, и в ней производить холодное полоскание шерсти, а противоток осуществлять через пятую — вторую барки. После пуска при достижении плотного остатка в первой барке в нее непрерывно подается вода для пополнения оттока жидкости из барки шерстью и промывания.

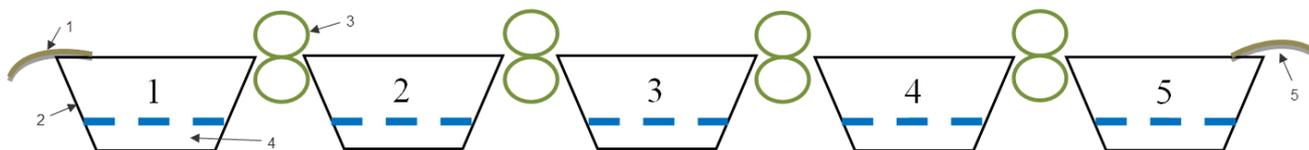


Рисунок 5 – Схема прохождения мойки шерсти представлена: 1 – поступающая шерсть на мойку; 2 – барка; 3 – отжимной вал; 4 – моющий раствор; 5 – мытая шерсть

На технологическом этапе первичной обработки шерсти, волокно помещено во влагу. Одним из важнейших свойств является способность волокна поглощать и отдавать воду.

В процессе мойки шерсти происходит очищение от растительных примесей и удаление жиров с помощью моющих средств. После мойки остается ~ 5,5 тонн шерсти, т.е. в процессе мойки в среднем происходит утеря массы 45%. На предприятии работающего по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа», для меньшего разрушения волокон шерсти, и для лучшего очищения волокнистой массы используется вода из минеральных источников.

В технологическом процессе при сушке шерсти устанавливаются нормы влаги, которые достигаются путем воздействия тепла в сушильном агрегате.

Абсолютная влажность шерсти $W_a = 20/180 * 100 = 11,1 \%$. По сравнению с кондиционной влажностью шерсть пересушена на 5,9 % (17—11,1).

Причитающаяся надбавка к фактической массе составит $5,9 * 100 / (100 + 11,1) = 5,3 \%$. Таким образом, кондиционная масса кипы шерсти $M_k = 240 * (100 + 5,3) / 100 = 252,7$ кг.

Кондиционная масса шерсти, кг,

$$G_k = M G_{\phi} (100 + W_k) / (100 + W_{\phi}) \quad (2.5)$$

где G_{ϕ} — фактическая масса шерсти, кг; W_k — норма кондиционной влажности мытой шерсти (однородной топкой, полутонкой, полугрубой и грубой; — 17%; неоднородной полугрубой и грубой — 15%); W_{ϕ} — фактическая влажность шерсти, %;

$$W_{\phi} = (G_{\text{пн}} - G_{\text{пс}})100/G_{\text{пс}} \quad (2.6)$$

где $G_{\text{пн}}$ — начальная масса пробы, г;

$G_{\text{пс}}$ — масса абсолютно сухой пробы, г.

Содержание влаги в шерсти, вышедшей из последней барки агрегата, отжатой, но еще не просушенной, не должно превышать 65—70 %.

В статье [91] Слепнева Е.В., Абдуллин И.Ш., Хамматова В.В., рассматривают температурное воздействие на волокно. Так же, из статьи можно выделить, влажность воздуха при сушке непосредственно влияет на структуру волокон шерсти. При большей влажности, в процессе сушки структура волокон разрушается незначительно, чем при сухой сушке. Можно сделать вывод, в процессе сушки при температуре 100 – 105°C волокно шерсти избавляется от влаги, при этом жесткость структуры волокна увеличивается, а вследствие и этого понижается прочность. Рассмотренная в статье сушка при температуре 120°C повреждает волокна шерсти, за счет активного разложения кератина, который, в свою очередь, разрушает волокна при выделении аммиака. Поврежденные волокна имеют низкие показатели прочности и удлинение, соответственно конечный шерстяной продукт будет низкого качества [91].

Влияние влаги в сырье на прочностные характеристики волокна шерсти и роль сушки в процессе ПОШ можно установить, рассмотрев относительную влажность воздуха и удельную разрывную нагрузку волокна:

$$P_{\text{в}} = 294 - 1,27\varphi + 0,004\varphi^2 \quad (2.7)$$

$$\frac{dP}{d\varphi} = -1,27 + 0,008\varphi \quad (2.8)$$

Откуда следует, что $dP_{\text{в}} = d\varphi (0,008\varphi - 1,27)$

Примем что $d\varphi = 1\%$, тогда $dP_{\text{в}} = 1(0,008\varphi - 1,27)$

При начальном значении $\varphi = 40\%$ $dP_{\text{в}} = 0,008*40 - 1,27 = -0,95$ МПа;

Если $\varphi=80\%$, тогда $dP_{\text{в}}=0,008*80-1,27= - 0,63$ МПа

Таким образом, увеличение влажности воздуха на 1% приводит к снижению удельной разрывной нагрузки волокна. Причем при высоком начальном значении φ потеря удельной разрывной нагрузки ниже, чем при меньшем начальном значении φ .

В пределах относительной влажности воздуха от 0 до 100% удельная разрывная нагрузка волокна снижается с увеличением влажности воздуха.

Результаты вычисления удельной – разрывной нагрузки волокна при различной относительной влажности воздуха, для экспериментального образца шерсти установленной линейной плотности в таблице 7.

$$828 - 1,27 \varphi + 0,004 \varphi^2 = P_{\text{в}}$$

Таблица 7 – Относительная разрывная нагрузка волокна при различной относительной влажности воздуха

| $\varphi, \%$ | $P_{\text{в}}, \text{МПа}$ |
|---------------|----------------------------|
| 20 | 804 |
| 40 | 783 |
| 60 | 766 |
| 80 | 752 |

Расчетные данные показателей снижения разрывной нагрузки шерстяного волокна приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Снижение разрывной нагрузки шерстяного волокна

| Содержание влаги x в 1 г шерсти, мг | Относительная разрывная нагрузка волокна $P, \%$ | | |
|---------------------------------------|--|--|---------------------|
| | Найденная экспериментально 1 г | Вычислено по формуле $P_{\text{в}} = 102,8 - 0,173x$ | Потеря прочности, % |
| 0 | 100 | 102,8 | — |
| 48 | 97,7 | 95,4 | 8,3 |
| 105 | 88 | 84,6 | 18,2 |
| 135 | 76 | 79,4 | 23,4 |

Продолжение таблицы 8

| | | | |
|-----|----|------|------|
| 164 | 73 | 74,4 | 28,4 |
| 195 | 70 | 69,1 | 33,7 |

Тем самым, подобрав оптимальную температуру сушки и оптимальную влажность шерсти, можно добиться наименьшей потери прочностных характеристик волокна, а также, чем меньше кератина будет разлагаться, тем соответственно, структура волокна будет подвергнута меньшим разрушением. В технологическом процессе первичной обработки тонкой/полутонкой шерсти у «Квест-А» температура сушки устанавливается в диапазоне 105 – 108°C. Это обусловлено тем, что в машине установлено 4 сушильных барабана, которые при достаточном усилии, выжимают не всю влагу, сохранившуюся в волокнах шерсти. Таким образом, шерсть подвергается сушке за счет повышения температуры в сушильном агрегате фирмы Amalric Engineering of Mazamet.

2.1.2 Свойства сырья и подготовка к смешиванию и кардочесанию

К основным свойствам волокон относятся диаметр, линейная плотность и прочность.

Если d — диаметр волокна, мкм, T — линейная плотность, текс, δ — средняя плотность, г/см³, n_B — метрический номер волокна, то

$$d = \frac{1129}{\sqrt{n_B \gamma}} = 35,7 \sqrt{T/\delta}; \quad (2.9)$$

$$T = d^2 \delta / 1274; \quad n_B = 957000 / d^2 \quad (2.10)$$

Значения γ , г/см³ для шерстяного волокна

$$d = 35,7 / 1,154 \sqrt{T} = 30,94 \sqrt{T} \quad (2.11)$$

Отсюда, линейная плотность шерстяного волокна, текс, $T = d^2 / 30,94^2 = 0,001045 d^2$.

При известном диаметре шерстяного волокна взятого за образец на предприятии «Квест-А» $d = 29$ мкм его линейная плотность составляет $T = 1,045 * 841 = 8,78$ мтекс.

Прочность шерстяного волокна можно рассчитать с помощью формул Кронахера. Под прочностью волокна подразумевается разрывная нагрузка и разрывной удлинение волокна.

Максимальная разрывная нагрузка волокна при зажимной длине 10 мм, сН,

$$P_B = 0,0056d^2 + 0,503d - 3,77 \quad (2.12)$$

Разрывная длина волокна, км,

$$L_B = 5,6 + \frac{502}{d} - 3790/d^2 \quad (2.13)$$

В таблице 9 приведены расчеты прочностных характеристик шерстяного волокна различного диаметра, в том числе взятого за образец на предприятии «Квест-А» ($d = 29$ мкм).

Таблица 9 – Прочностные характеристики шерстяного волокна

| Диаметр, мкм | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 29 |
|--------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Разрывная нагрузка, сН | 5,7 | 6,4 | 7,1 | 7,8 | 8,5 | 9,3 | 10 | 10,8 | 15,5 |
| Абсолютная прочность, км | 22,2 | 22 | 21,8 | 21,5 | 21,2 | 20,9 | 20,6 | 20,2 | 18,4 |

Из приведенных данных видно, что с увеличением диаметра волокна шерсти его абсолютная разрывная нагрузка последовательно возрастает, а абсолютная прочность снижается, хотя и медленнее.

Если в смесь входит n компонентов (волокон) различной линейной плотности T и средней плотности δ , а доля каждого составляет a_i (причем $a_1 + a_2 + a_3 \dots a_n = 1$) то, средняя плотность волокон,

$$\delta = a_1\gamma_1 + a_2\gamma_2 + a_3\gamma_3 \dots a_n\gamma_n \quad (2.14)$$

средняя линейная плотность волокон смеси, текс,

$$T = a_1T_1 + a_2T_2 + a_3T\delta_3 \dots a_n\delta T_n \quad (2.15)$$

средний диаметр волокон смеси, мкм,

$$d = \sqrt{4T/(\pi\delta)} \quad (2.16)$$

Пусть $a_1 = 0,2$, $T_1 = 330$ мтекс, $\delta_1 = 1,2$ г/см³, $a_2 = 0,15$, $T_2 = 285$ мтекс, $\delta_2 = 1,3$ г/см³, $a_3 = 0,4$, $T_3 = 500$ мтекс, $\delta_3 = 1,35$ г/см³, $a_4 = 0,25$, $T_4 = 400$ мтекс, $\delta_4 = 1,4$ г/см³.

Тогда $\delta = 0,2 * 1,2 + 0,15 * 1,3 + 0,4 * 1,35 + 0,25 * 1,4 = 1,325 \text{ г/см}^3$; $T = 0,2 * 330 + 0,15 * 285 + 0,4 * 500 + 0,25 * 400 = 409 \text{ мтекс}$.

Средний диаметр волокон смеси

$$d = \sqrt{4 * 409 / (3.14 * 1.325)} = 19,8 \text{ мкм.}$$

Таблица 10 – Абсолютная и относительная нагрузка при различной линейной плотности

| Диаметр, мкм | Линейная плотность, текс | Разрывная нагрузка | | Разрывное удлинение, % |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | абсолютная, сН | относительная сН/текс | |
| 16,2 | 0,27 | 4,84 | 17,7 | 37,32 |
| 16,8 | 0,29 | 5,48 | 18,64 | 41,51 |
| 17,7 | 0,33 | 5,33 | 16,31 | 40,33 |
| 18,6 | 0,36 | 6,17 | 17 | 43,64 |
| 19,6 | 0,41 | 6,62 | 16,55 | 33,32 |
| 20,6 | 0,44 | 7,11 | 16 | 30,35 |
| 21,6 | 0,49 | 8,42 | 17,34 | 34,61 |
| 23 | 0,55 | 8,25 | 14,91 | 32,11 |
| 26,3 | 0,72 | 10,58 | 14,63 | 35,23 |
| 29 | 0,83 | 13 | 16,52 | 36 |
| 33,8 | 1,19 | 15,97 | 13,42 | 36,25 |
| 37,1 | 1,44 | 17,44 | 12,11 | 36,11 |

Из экспериментальных данных, приведенных в таблице 10, следует, что с увеличением диаметра волокна примерно до 22 мкм (одновременно с увеличением линейной плотности) его относительная разрывная нагрузка снижается медленно, свыше 22 мкм значительно быстрее.

2.2 Технология обработки шерсти. Технологический процесс от линии ПОШ до получения гребенной ленты

Для того чтобы, получить после технологических процессов ПОШ ленту, сырье обрабатывается и подготавливается к чесанию на последующих переходах производства.

На производстве «Квест-А» зафиксирован и был изучен весь технологический процесс от первичной обработки шерсти, до получения готовой продукции. Зафиксированы моменты, вследствие которых возможна утеря объема сырья, и какие факторы воздействуют на качественные характеристики шерсти.

После высушивания шерсть подвергают трепанию, сущность процесса которого состоит в разрыхлении ее, вспушивании, удалении из нее пыли и твердых примесей в виде кусочков земли. Разрыхление и трепание проводят для более тщательного рыхления волокон и очистки их от посторонних примесей, оставшихся после рыхления. В цикле трепания производится определение различных факторов, таких как число барабанов, частота, расстояние между частями трепальной машины и т.д. Эти факторы непосредственно влияют на структуру и прочность волокна.

В процессе трепания происходит замасливание шерсти. Нужно это для окончательного разрыхления волокнистой массы и удаления грубых примесей, а кроме того, здесь производится замасливание волокон. Замасливание уменьшает электризуемость у химических волокон и увеличивает подвижность у шерстяных. Как было установлено ранее, после воздействия на шерсть выжимных валов и высокой температуры, происходит утеря прочностных характеристик волокна.

В технологическом процессе разрыхления и трепания происходит удар волокон друг о друга и при ударе возникает. Соответственно, волокна под влиянием электризации незначительно теряют свои прочностные характеристики, за счет увеличения неровноты. Исходя из этого, возникает потребность в устранении данного фактора. Необходимо увеличить объем увлажнения и замасливания волокон в технологическом процессе, что в свою очередь

положительно отразится на прочности волокон, так как в результате замасливания волокна лучше сохраняются, ровница и пряжа из этих волокон получается более компактной, обрывность, как в чесании, так и в прядении значительно сокращается, а выход пряжи увеличивается.

Содержание жира в тонкой/полутонкой шерсти подлежащая замасливанню должна составлять 5 - 6% от общего веса шерсти.

Следующим этапом в процессе непрерывной обработки шерсти на фабрике «Квест-А» является кардочесание. Сырье поступает в процесс кардочесания, цель которого — подготовка волокна к вытягиванию в вытяжных приборах. Сущность процесса — разъединение клочков на отдельные волокна, распрямление, параллелизация их, очистка от оставшихся мелких и цепких сорных примесей, и пороков, а также хорошее перемешивание волокна. На чесальной машине из тонкого слоя прочесанных волокон формируется продукт в виде ленты [51].

Кроме того, в процессе чесания осуществляется: выравнивание смеси по составу путем перемешивания входящих в нее волокон, очистка волокон от различных сорных примесей, распрямление и частичная параллелизация волокон [92].

На рисунке 6 показан процесс кардочесания на производстве «Квест-А».



Рисунок 6 – Процесс кардочесания на предприятии «Квест-А». (фото автора, август 2018 г.)

В процессе кардочесания мытая шерсть, поступающая на чесальную машину, проходит технологию разъединения и равномерное распределение волокон друг относительно друга. Так как в процессе чесания скорость устанавливается в зависимости от состава поступившей шерсти после сушки [13].

Основываясь на работе [38] есть возможность рассчитать степень очистки необходимой для обработки шерсти на предприятии «Квест-А».

Степень очистки на чесальной машине:

$$\omega = \frac{n_{п0} - n_{п}}{n_{п0}} 100 \quad (2.17)$$

Где $n_{п0}$ и $n_{п}$ — количество сорных примесей и пороков в 1 г соответственно поступающего материала и чесальной ленты или ровницы, г. Если в материале установлено присутствие $n_{п0} = 0,05$ г., а $n_{п} = 0,02$ г., то $\omega = \frac{0,05 - 0,02}{0,05} 100 = 60\%$.

При взятом образце тонкой/полутонкой шерсти скорость прохождения шерсти через чесальную машину установлена на уровне — 30 г/м. Установив скорость еще ниже (27-28 г/м) можно добиться, чтобы весь объем шерсти в процессе кардочесания в достаточной мере был очищен от пучков и т.н. мушек (скоплений узелков). При установке большей скорости велика вероятность высокого процента отходов (очесов), т.к. поступившее волокно будет цепляться иглами в нескольких местах одновременно и в результате не выдерживать и обрываться. Выбрав и установив в технологическом процессе объем прохождения через кардочесальную машину, фиксируется объем утери на выходе ~ 10%, что не превышает расчетные потери при чесании.

Потери сырья в процессе чесания без остановки машины, %,

$$\Pi = \frac{G_{в} - G_{л}}{G_{в}} 100 = \left(1 - \frac{G_{л}}{G_{в}}\right) 100, \quad (2.18)$$

где $G_{в}$ — суммарная масса волокна за 10 последовательных бросков самовеса, г; $G_{л}$ — масса ленты, наработанной машиной за время t , г; равное продолжительности поступления 10 бросков, г.

Для расчета измерялась масса волокна при каждом из 10 бросках, а также масса ленты и время наработки равное продолжительности поступления. Отсюда

следует, что при $G_B = 310 + 312 + 302 + 315 + 298 + 311 + 306 + 319 + 305 + 301 = 3079$ г., и $M = 2796$ г., $P = \left(1 - \frac{3079}{2796}\right) 100 = 10,12\%$

Получив сырье после мойки и сушки объемом 5,5 тонн, шерсть прошла процесс замаливания и поступила в кардочесальную машину, получив на выходе ~ 5 тонн.

Получив чесальную ленту, согласно технологическому процессу на производстве, прежде чем передать ленту в процесс гребнечесания, она поступает в ровничный отдел. Ровничный отдел фабрики оснащен оборудованием.

В процессе производства шерстяной пряжи с помощью вытягивания, распрямления и параллелизации волокон вырабатывается шерстяная лента с различной линейной плотностью. Продукт линейной плотностью 0,25 - 2 ктекс (ровница) имеет малую прочность и для фиксации подвергается слабому скручиванию (19-35 кр. /м) или скручиванию при переработке шерсти по аппаратной системе прядения [107].

После переработки шерсти в ровницу происходит процесс дальнейшей параллелизации волокна, удалений дефектных волокон и примесей на гребнечесальной машине с выработкой конечного продукта в виде гребенной ленты. Цель заключается в получении из чесальной ленты, подготовленной к гребнечесанию, гребенной ленты [66-69].

Гребенная лента состоит из равномерных по длине, достаточно тщательно очищенных, распрямленных и параллельно расположенных волокон, что позволяет вырабатывать из нее более прочную, равномерную, чистую и гладкую пряжу[47].

Для выработки гребенной ленты на предприятии «Квест-А» применяется последовательность технологических операций в зависимости, прежде всего от состава перерабатываемой смеси, а также от назначения и линейной плотности - пряжи, изготовляемой из гребенной ленты.

Для рассматриваемой тонкой/полутонкой шерсти установлена скорость в процессе прочеса в гребнечесальном агрегате ~ 27-30 г/м. Объем прохождения

шерсти в гребнечесальном агрегате устанавливается приблизительно равный объему в кардочесальной машине. Выбраны оптимальные критерии, которые минимально влияют на структуру волокна. Во время прохождения шерсти через гребнечесальный агрегат, происходит распрямление и очищение равномерных по длине волокон. Удаляемые при гребнечесании короткие волокна являются очесом (крупным и мелким), подлежащим сбору и отдельному использованию.

Основываясь на [38], рассчитывается укорочение волокон в процессе чесания, и определяется обрывность волокон, что и является гребнечесальным очесом.

$$\omega = (l_1 - l_2) / l_1 * 100 \quad (2.19)$$

где l_1 — средняя длина по образцам самовеса, мм; l_2 — средняя длина по образцам ленты или ровницы, мм;

Критерии оценки степени укорочения: если ω принимает значение до 15%, то этот результат принимается как «отлично». Неудовлетворительным считается, когда обрывность волокон превышает 21%.

Средняя длина по образцам = 65 мм, средняя длина по образцам ленты или ровницы = 57 мм. Отсюда, $\omega = \frac{65-57}{65} * 100 = 12,3\%$.

Из поступившего объема отечественной тонкой шерсти на гребнечесание, зафиксирован очес в размере ~13 %, что является подтверждением расчетным показателям.

Шерсть с выходом очесов ~ 8 % считается наилучшим достижимым вариантом. Невозможность получать при чесании 100 % гребенной ленты связана с определенным неизбежным разрушением кончиков волокон в результате атмосферного воздействия, что приводит к потерям в виде очесов, получаемых в процессе чесания.

По соотношению массы гребенной ленты к массе очесам определяют выход ленты в гребнечесании [108].

Снижение прочности в середине штапеля невымытой шерсти, как правило, означает, что партия шерсти не может использоваться в камвольном (гребенном) прядении шерсти и должна рекомендоваться для аппаратной системы [63].

В работе [41] описан процесс гребнечесания, который осуществляется на машине в два этапа. Сначала прочесываются передние кончики волокон гребнями барабанчика, а затем задние – верхним гребнем.

Исходя из результатов работы, можно сделать вывод, что средняя длина волокон шерсти увеличивается на 0,2-0,5 мм, при уменьшении неровноты. Доля очеса после гребнечесания может достигать 25%, при этом нижний порог теоретически может составлять лишь 8%. На данный момент, на предприятии работающего по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа» доля очесов составляет в среднем 12-14%.

Средний коэффициент распрямленности волокон в гребенной ленте достигает 0,8-0,88. Одновременно с удалением коротких волокон в процессе гребнечесания волокна очищаются от мелких пороков и сорных примесей. На гребнечесальной машине вычесывается до 55% массы пороков [95].

На Рисунке 7 представлен процесс производства гребенной ленты на фабрике «Квест-А».



Рисунок 7 – Производство гребенной ленты на предприятии «Квест-А»

После выработки гребенной ленты, она должна пройти процесс вылеживания, затем передается в ровничный отдел, где происходит дополнительное вытягивание, выработка ровницы [50].

2.3 Методы определения загрязненности невыттой шерсти. Расчет выхода мытой шерсти и гребенной ленты по стандарту International Wool Textile Organization

Расчет и методы определения растительных примесей в шерсти и выхода мытой шерсти из невыттой производится в соответствии с нормативной документацией организации International Wool Textile Organization (IWTO).

По установленным стандартам IWTO для проведения эксперимента необходимо отобрать не менее 1 кг образца невыттой шерсти.

В работе [108] описаны основные процессы отбора образцов для проведения экспериментов.

Масса отобранного волокнистого материала должна соответствовать стандарту IWTO, т.е. каждый образец должен весить не менее 200 г.

Определение содержания растительных примесей в шерсти VMB (%) производят по следующей формуле:

$$VMB_i = \frac{100}{M_i} \sum_{j=1}^3 f_j m_j \left(1 - \frac{A_i}{m}\right) \quad (2.20)$$

Содержание всех нерастворимых в щелочи веществ (%) определяют по формуле:

$$T_i = \frac{100}{M_i} \sum_{j=1}^5 f_j m_j \left(1 - \frac{A_i}{m}\right) \quad (2.21)$$

где M_i – общая масса 1-й пробы, г;

m_j – масса части из осадка, г;

A_i – минеральный остаток на каждую часть;

f_j – коэффициент примеси в каждой части.

Основные испытательные образцы продукции получены из содержания шерсти (WB) и, в надлежащих случаях, содержание растительных примесей (VMB) и твердых отходов (НН). Все образцы продукции включают стандартные показатели влажности и небольшие показатели остаточной засоренности и жира, после обработки. Допуски на влажность сырья выражены как возвращенный вес добавленной влажности, выраженной в процентах от основной шерсти плюс

допуски на присутствие пыли и спирта. Некоторые образцы включают в себя допуски, потерь волокна во время обработки, например, переработка на машинах Шлюмберже. Учтена роль этих факторов в процессе изучения и вычислений различных образцов с различными параметрами.

Wool Base (WB) – содержание шерсти. Чистый вес шерстяного волокна, лишенного всех примесей (например, вещество растительного происхождения, влажности, пыли, жира, и т.д.) выраженный в процентах веса от основного образца.

Определение содержания шерсти $WB_i(\%)$ производят по следующей формуле:

$$WB_i = \frac{G_{ип}(100-E_i-A_i-T_i)}{W_i} \quad (2.22)$$

где $G_{ип}$ – постоянно сухая масса мытого 1-го подобразца, г;

E_i – содержание веществ, экстрагируемых спиртом, % от постоянно сухой массы мытого 1-го подобразца;

A_i – содержание зольного остатка, % от постоянно сухой массы мытого 1-го подобразца;

T_i – содержание всех нерастворимых в щелочи веществ (в т.ч. растительных примесей), % от постоянно сухой массы мытого 1-го подобразца;

W_i – масса 1-го подобразца шерсти, г.

Mean fibre diameter (MFD) – средний диаметр волокна в микрометрах.

Vegetable matter base (VMB) - содержание примесей растительного происхождения, выраженного в процентах от веса основного образца.

Hard head-twigs (НН) компоненты основного вещества растительного происхождения.

Vegetable matter (VM) – содержание примесей растительного происхождения, в долях.

Наиболее распространенные характеристики выхода определены и представлены в [108], определяемые методами IWTO. Основные расчетные

формулы характеристики выхода полуфабрикатов из шерсти, определяемые методами IWTO приведены в [108].

Допуски шерсти в процессе гребнечесания на машинах Шлюмберже в %, потерянного во время обработки. Эти потери волокна непосредственно связаны с веществами растительного происхождения и вычислены согласно следующей формуле:

$$PA = 7,7 - \frac{40,6}{(7,8+VMB-HH)} \quad (2.23)$$

$$PA = 7,7 - \frac{40,6}{(7,8+VMB-HH)} = 2.75 \%$$

Вычисления для высушенной шерсти на машинах гребнечесания Шлюмберже (SDRY): $SDRY = (WB \times 1.207) - PA$;

В Свидетельстве об испытании в качестве примера:

$$SDRY = (55.46 \times 1.207) - 2.75 = 64,2\%$$

$$\text{Чистый вес} = \frac{10000 \times 64,2}{100} = 6420 \text{ кг.}$$

Шерсть при 17% влажности (SCD, 17) по стандарту IWTO рассчитано на основе WB и VMB. Предусмотрено 2,27% для остаточных зольных и спиртовых экстрактов и 17% влажности. Этот показатель оценивает «выход промывки», то есть выход продукта, полученный после чистки, но до того, как будет произведена любая обработка для удаления растительного вещества.

Основой расчета этого показателя является:

$$\begin{aligned} SCD, 17 &= \frac{WB + VMB \cdot 117}{(100 - 2,27)} \quad (2.24) \\ &= \frac{WB + VMB \cdot 117}{(100 - 97,73)} \\ &= (WB + VMB) \times 1,1972 \end{aligned}$$

В свидетельстве об испытании:

$$SCD, 17 = (55.46 + 0.5) \times 1.1972 = 67.0 \%$$

$$\text{Чистый вес} = \frac{10000 \times 67,0}{100} = 6700$$

Для выявления влияния факторов и характеристик шерсти при выходе мытой шерсти из невытой, представляется необходимым произвести расчеты по

стандартам IWTO. PA рассчитывается по формуле (2.23), в зависимости от наличия VM в продукте.

Таблица 11 – Результаты расчетов потери волокна в %, в зависимости от содержания растительных примесей в продукте

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| PA | 2,75 | 3,03 | 3,29 | 3,51 | 3,72 | 3,91 | 4,23 | 4,5 | 4,74 | 4,94 | 5,11 | 5,27 | 5,41 |
| VM | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Отсюда содержание шерсти (WB) = $[SDRY + PA] / 1,207$, где: SDRY – выход чистой шерсти после гребнечесания, PA – потери волокна;

Таблица 12 – Содержание шерсти в %, в зависимости от содержание растительных примесей в продукте и потери волокна

| VM \ SDRY | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 35 | 31,2 | 31,5 | 31,7 | 31,9 | 32,1 | 32,2 | 32,5 | 32,7 | 32,9 | 33,1 | 33,2 | 33,4 | 33,5 |
| 36 | 32,1 | 32,3 | 32,5 | 32,7 | 32,9 | 33,1 | 33,3 | 33,5 | 33,7 | 33,9 | 34,1 | 34,2 | 34,3 |
| 37 | 32,9 | 33,2 | 33,4 | 33,5 | 33,7 | 33,9 | 34,7 | 34,4 | 34,6 | 34,7 | 34,9 | 35,1 | 35,1 |
| 38 | 33,7 | 33,9 | 34,2 | 34,4 | 34,6 | 34,7 | 34,9 | 35,2 | 35,4 | 35,6 | 35,7 | 35,8 | 35,9 |
| 39 | 34,5 | 34,8 | 35,1 | 35,2 | 35,4 | 35,5 | 35,8 | 36,1 | 36,2 | 36,4 | 36,5 | 36,7 | 36,8 |
| 40 | 35,4 | 35,6 | 35,9 | 36,1 | 36,2 | 36,4 | 36,6 | 36,8 | 37,1 | 37,2 | 37,4 | 37,5 | 37,6 |
| 41 | 36,2 | 36,5 | 36,7 | 36,9 | 37,1 | 37,2 | 37,5 | 37,7 | 37,9 | 38,1 | 38,2 | 38,3 | 38,4 |
| 42 | 37,1 | 37,3 | 37,5 | 37,7 | 37,9 | 38,1 | 38,3 | 38,5 | 38,7 | 38,8 | 39,1 | 39,2 | 39,3 |
| 43 | 37,9 | 38,1 | 38,3 | 38,5 | 38,7 | 38,8 | 39,1 | 39,3 | 39,5 | 39,7 | 39,8 | 39,9 | 40,1 |
| 44 | 38,7 | 38,9 | 39,2 | 39,4 | 39,5 | 39,7 | 39,9 | 40,2 | 40,4 | 40,5 | 40,7 | 40,8 | 40,9 |
| 45 | 39,6 | 39,8 | 40,1 | 40,2 | 40,4 | 40,5 | 40,8 | 41,1 | 41,2 | 41,4 | 41,5 | 41,6 | 41,7 |
| 46 | 40,4 | 40,6 | 40,8 | 41,1 | 41,2 | 41,3 | 41,6 | 41,8 | 42,1 | 42,2 | 42,3 | 42,5 | 42,6 |
| 47 | 41,2 | 41,4 | 41,6 | 41,8 | 42,1 | 42,2 | 42,4 | 42,6 | 42,8 | 43,1 | 43,2 | 43,3 | 43,4 |
| 48 | 42,1 | 42,3 | 42,5 | 42,7 | 42,8 | 43,1 | 43,3 | 43,5 | 43,7 | 43,8 | 44 | 44,1 | 44,2 |
| 49 | 42,9 | 43,1 | 43,3 | 43,5 | 43,7 | 43,8 | 44,1 | 44,3 | 44,5 | 44,7 | 44,8 | 44,9 | 45,1 |
| 50 | 43,7 | 43,9 | 44,1 | 44,3 | 44,5 | 44,6 | 44,9 | 45,1 | 45,3 | 45,5 | 45,6 | 45,8 | 45,9 |
| 51 | 44,5 | 44,7 | 44,9 | 45,2 | 45,3 | 45,5 | 45,7 | 45,9 | 46,2 | 46,3 | 46,5 | 46,6 | 46,7 |
| 52 | 45,4 | 45,6 | 45,8 | 45,9 | 46,2 | 46,3 | 46,6 | 46,8 | 47,1 | 47,2 | 47,3 | 47,4 | 47,5 |
| 53 | 46,2 | 46,4 | 46,6 | 46,8 | 46,9 | 47,1 | 47,4 | 47,6 | 47,8 | 48 | 48,1 | 48,3 | 48,4 |
| 54 | 47,1 | 47,2 | 47,4 | 47,6 | 47,8 | 47,9 | 48,2 | 48,5 | 48,6 | 48,8 | 48,9 | 49,1 | 49,2 |
| 55 | 47,8 | 48,1 | 48,3 | 48,4 | 48,6 | 48,8 | 49,1 | 49,3 | 49,5 | 49,6 | 49,8 | 49,9 | 50,1 |

Шерсть при 17% влажности (SCD, 17) по стандарту IWTO: $SCD = (WB + VM) * 1,1869$. Где: SCD – шерсть под воздействием влажности, WB – содержание шерсти, VM – растительные примеси;

Результаты расчетов выхода мытой шерсти из немытой по IWTO представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов выхода топса

| VM SDRY | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 35 | 37,7 | 38,6 | 39,4 | 40,2 | 41 | 41,8 | 43,3 | 44,8 | 46,2 | 47,6 | 48,9 | 50,3 | 51,6 |
| 36 | 38,7 | 39,6 | 40,4 | 41,2 | 42 | 42,8 | 44,3 | 45,8 | 47,2 | 48,6 | 49,9 | 51,3 | 52,6 |
| 37 | 39,7 | 40,5 | 41,4 | 42,2 | 43 | 43,8 | 45,3 | 46,7 | 48,2 | 49,6 | 50,9 | 52,2 | 53,6 |
| 38 | 40,7 | 41,5 | 42,4 | 43,2 | 44 | 44,8 | 46,3 | 47,7 | 49,1 | 50,5 | 51,9 | 53,2 | 54,6 |
| 39 | 41,6 | 42,5 | 43,4 | 44,2 | 45 | 45,8 | 47,3 | 48,7 | 50,1 | 51,5 | 52,9 | 54,2 | 55,5 |
| 40 | 42,6 | 43,5 | 44,4 | 45,2 | 46 | 46,7 | 48,2 | 49,7 | 51,1 | 52,5 | 53,8 | 55,2 | 56,5 |
| 41 | 43,6 | 44,5 | 45,3 | 46,1 | 46,9 | 47,7 | 49,2 | 50,7 | 52,1 | 53,5 | 54,8 | 56,2 | 57,5 |
| 42 | 44,6 | 45,5 | 46,3 | 47,1 | 47,9 | 48,7 | 50,2 | 51,7 | 53,1 | 54,5 | 55,8 | 57,2 | 58,5 |
| 43 | 45,6 | 46,5 | 47,3 | 48,1 | 48,9 | 49,7 | 51,2 | 52,6 | 54,1 | 55,5 | 56,8 | 58,1 | 59,5 |
| 44 | 46,6 | 47,4 | 48,3 | 49,1 | 49,9 | 50,7 | 52,2 | 53,6 | 55 | 56,4 | 57,8 | 59,1 | 60,5 |
| 45 | 47,5 | 48,4 | 49,3 | 50,1 | 50,9 | 51,7 | 53,2 | 54,6 | 56 | 57,4 | 58,8 | 60,1 | 61,4 |
| 46 | 48,5 | 49,4 | 50,3 | 51,1 | 51,9 | 52,6 | 54,1 | 55,6 | 57 | 58,4 | 59,7 | 61,1 | 62,4 |
| 47 | 49,5 | 50,4 | 51,2 | 52 | 52,8 | 53,6 | 55,1 | 56,6 | 58 | 59,4 | 60,7 | 62,1 | 63,4 |
| 48 | 50,5 | 51,4 | 52,2 | 53 | 53,8 | 54,6 | 56,1 | 57,6 | 59 | 60,4 | 61,7 | 63,1 | 64,4 |
| 49 | 51,5 | 52,4 | 53,2 | 54 | 54,8 | 55,6 | 57,1 | 58,5 | 60 | 61,4 | 62,7 | 64 | 65,4 |
| 50 | 52,5 | 53,3 | 54,2 | 55 | 55,8 | 56,6 | 58,1 | 59,5 | 60,9 | 62,3 | 63,7 | 65 | 66,4 |
| 51 | 53,4 | 54,3 | 55,2 | 56 | 56,8 | 57,6 | 59,1 | 60,5 | 61,9 | 63,3 | 64,7 | 66 | 67,3 |
| 52 | 54,4 | 55,3 | 56,2 | 57 | 57,8 | 58,5 | 60 | 61,5 | 62,9 | 64,3 | 65,7 | 67 | 68,3 |
| 53 | 55,4 | 56,3 | 57,1 | 57,9 | 58,7 | 59,5 | 61 | 62,5 | 63,9 | 65,3 | 66,6 | 68 | 69,3 |
| 54 | 56,4 | 57,3 | 58,1 | 58,9 | 59,7 | 60,5 | 62 | 63,5 | 64,9 | 66,3 | 67,6 | 69 | 70,3 |
| 55 | 57,4 | 58,3 | 59,1 | 59,9 | 60,7 | 61,5 | 63 | 64,4 | 65,9 | 67,2 | 68,6 | 69,9 | 71,3 |

Для выявления влияния факторов и характеристик шерсти при выходе топса из немытой шерсти, представляется необходимым произвести расчеты по стандартам IWTO.

РА рассчитывается по формуле (2.23), в зависимости от наличия VM в продукте.

Таблица 14 – Результаты расчетов потери волокна в %, в зависимости от содержание растительных примесей в продукте

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| РА | 2,75 | 3,03 | 3,29 | 3,51 | 3,72 | 3,91 | 4,23 | 4,5 | 4,74 | 4,94 | 5,11 | 5,27 | 5,41 |
| VM | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Отсюда $WB = SCR D / 1.1972 - VM$, где: SCR D – объем немытой шерсти, WB – содержание шерсти;

Таблица 15 – Результаты содержание чистой шерсти в %, в зависимости от содержания растительных примесей в продукте и потери волокна

| VM SDRY | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 35 | 28,7 | 28,2 | 27,7 | 27,2 | 26,7 | 26,2 | 25,2 | 24,2 | 23,2 | 22,2 | 21,2 | 20,2 | 19,2 |
| 36 | 29,6 | 29,1 | 28,5 | 28,1 | 27,5 | 27,1 | 26,1 | 25,1 | 24,1 | 23,0 | 22,1 | 21,1 | 20,1 |
| 37 | 30,4 | 29,9 | 29,4 | 28,9 | 28,4 | 27,9 | 26,9 | 25,9 | 24,9 | 23,9 | 22,9 | 21,9 | 20,9 |
| 38 | 31,2 | 30,7 | 30,2 | 29,7 | 29,2 | 28,7 | 27,7 | 26,7 | 25,7 | 24,7 | 23,7 | 22,7 | 21,7 |
| 39 | 32,1 | 31,5 | 31 | 30,5 | 30,1 | 29,6 | 28,5 | 27,5 | 26,5 | 25,5 | 24,6 | 23,5 | 22,5 |
| 40 | 32,9 | 32,4 | 31,9 | 31,4 | 30,9 | 30,4 | 29,4 | 28,4 | 27,4 | 26,4 | 25,4 | 24,4 | 23,4 |
| 41 | 33,7 | 33,2 | 32,7 | 32,2 | 31,7 | 31,2 | 30,2 | 29,2 | 28,2 | 27,2 | 26,2 | 25,2 | 24,2 |
| 42 | 34,6 | 34,1 | 33,5 | 33,1 | 32,5 | 32,1 | 31,1 | 30,1 | 29,1 | 28,1 | 27,1 | 26,1 | 25,1 |
| 43 | 35,4 | 34,9 | 34,4 | 33,9 | 33,4 | 32,9 | 31,9 | 30,9 | 29,9 | 28,9 | 27,9 | 26,9 | 25,9 |
| 44 | 36,2 | 35,7 | 35,2 | 34,7 | 34,2 | 33,7 | 32,7 | 31,7 | 30,7 | 29,7 | 28,7 | 27,7 | 26,7 |
| 45 | 37,1 | 36,6 | 36 | 35,5 | 35,1 | 34,6 | 33,5 | 32,1 | 31,6 | 30,5 | 29,6 | 28,6 | 27,6 |
| 46 | 37,9 | 37,4 | 36,9 | 36,4 | 35,9 | 35,4 | 34,4 | 33,4 | 32,4 | 31,4 | 30,4 | 29,4 | 28,4 |
| 47 | 38,7 | 38,2 | 37,7 | 37,2 | 36,7 | 36,2 | 35,2 | 34,2 | 33,2 | 32,2 | 31,2 | 30,2 | 29,2 |
| 48 | 39,6 | 39,1 | 38,5 | 38 | 37,6 | 37,1 | 36,1 | 35,1 | 34,1 | 33,1 | 32,1 | 31,1 | 30,1 |
| 49 | 40,4 | 39,9 | 39,4 | 38,9 | 38,4 | 37,9 | 36,9 | 35,9 | 34,9 | 33,9 | 32,9 | 31,9 | 30,9 |
| 50 | 41,3 | 40,7 | 40,2 | 39,7 | 39,2 | 38,7 | 37,7 | 36,7 | 35,7 | 34,7 | 33,7 | 32,7 | 31,7 |
| 51 | 42,1 | 41,6 | 41,1 | 40,6 | 40,1 | 39,6 | 38,6 | 37,6 | 36,6 | 35,6 | 34,6 | 33,6 | 32,6 |
| 52 | 42,9 | 42,4 | 41,9 | 41,4 | 40,9 | 40,4 | 39,4 | 38,4 | 37,4 | 36,4 | 35,4 | 34,4 | 33,4 |
| 53 | 43,7 | 43,2 | 42,7 | 42,2 | 41,8 | 41,2 | 40,2 | 39,2 | 38,2 | 37,2 | 36,2 | 35,2 | 34,2 |
| 54 | 44,6 | 44,1 | 43,6 | 43,1 | 42,6 | 42,1 | 41,1 | 40,1 | 39,1 | 38,1 | 37,1 | 36,1 | 35,1 |
| 55 | 45,4 | 44,9 | 44,4 | 43,9 | 43,4 | 42,9 | 41,9 | 40,9 | 39,9 | 38,9 | 37,9 | 36,9 | 35,9 |

Выход топса при влажности 17% (SCD, 17) по стандарту IWTO: $SDRY = WB * 1,207 - PA$, где: SDRY – выход чистой шерсти на машинах гребнечесания Шлюмберже, WB – содержание шерсти, PA – потери волокна.

Согласно полученным результатам, с повышением доли растительных примесей, объем выхода чистой шерсти снижается.

Результаты расчетов выхода топса из невытой шерсти по стандарту IWTO представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты расчетов выхода топса из невытой шерсти по стандарту IWTO

| VM SCRD | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 35 | 31,9 | 31 | 30,2 | 29,4 | 28,5 | 27,7 | 26,2 | 24,7 | 23,3 | 21,9 | 20,5 | 19,1 | 17,8 |
| 36 | 32,9 | 32,1 | 31,2 | 30,4 | 29,6 | 28,8 | 27,2 | 25,8 | 24,3 | 22,9 | 21,5 | 20,2 | 18,8 |
| 37 | 34 | 33,1 | 32,2 | 31,4 | 30,6 | 29,8 | 28,3 | 26,8 | 25,3 | 23,9 | 22,5 | 21,2 | 19,8 |
| 38 | 35 | 34,1 | 33,2 | 32,4 | 31,6 | 30,8 | 29,3 | 27,8 | 26,3 | 24,9 | 23,5 | 22,2 | 20,8 |
| 39 | 36 | 35,1 | 34,2 | 33,4 | 32,6 | 31,8 | 30,3 | 28,8 | 27,3 | 25,9 | 24,6 | 23,2 | 21,8 |
| 40 | 37 | 36,1 | 35,2 | 34,4 | 33,6 | 32,8 | 31,3 | 29,8 | 28,3 | 26,9 | 25,6 | 24,2 | 22,8 |
| 41 | 38 | 37,1 | 36,2 | 35,4 | 34,6 | 33,8 | 32,3 | 30,8 | 29,4 | 28 | 26,6 | 25,2 | 23,9 |
| 42 | 39 | 38,1 | 37,2 | 36,4 | 35,6 | 34,8 | 33,3 | 31,8 | 30,4 | 29 | 27,6 | 26,2 | 24,9 |
| 43 | 40 | 39,1 | 38,3 | 37,4 | 36,6 | 35,8 | 34,3 | 32,8 | 31,4 | 30 | 28,6 | 27,2 | 25,9 |
| 44 | 41 | 40,1 | 39,3 | 38,4 | 37,6 | 36,8 | 35,3 | 33,8 | 32,4 | 31 | 29,6 | 28,2 | 26,9 |
| 45 | 42 | 41,1 | 40,3 | 39,4 | 38,6 | 37,8 | 36,3 | 34,8 | 33,4 | 32 | 30,6 | 29,2 | 27,9 |
| 46 | 43 | 42,1 | 41,3 | 40,4 | 39,6 | 38,8 | 37,3 | 35,8 | 34,4 | 33 | 31,6 | 30,2 | 28,9 |
| 47 | 44 | 43,1 | 42,3 | 41,5 | 40,6 | 39,9 | 38,3 | 36,9 | 35,4 | 34 | 32,6 | 31,3 | 29,9 |
| 48 | 45 | 44,2 | 43,3 | 42,5 | 41,7 | 40,9 | 39,3 | 37,9 | 36,4 | 35 | 33,6 | 32,3 | 30,9 |
| 49 | 46 | 45,2 | 44,3 | 43,5 | 42,7 | 41,9 | 40,3 | 38,9 | 37,4 | 36 | 34,6 | 33,3 | 31,9 |
| 50 | 47,1 | 46,2 | 45,3 | 44,5 | 43,7 | 42,9 | 41,3 | 39,9 | 38,4 | 37 | 35,6 | 34,3 | 32,9 |
| 51 | 48,1 | 47,2 | 46,3 | 45,5 | 44,7 | 43,9 | 42,4 | 40,9 | 39,4 | 38 | 36,7 | 35,3 | 33,9 |
| 52 | 49,1 | 48,2 | 47,3 | 46,5 | 45,7 | 44,9 | 43,4 | 41,9 | 40,4 | 39 | 37,7 | 36,3 | 34,9 |
| 53 | 50,1 | 49,2 | 48,3 | 47,5 | 46,7 | 45,9 | 44,4 | 42,9 | 41,5 | 40 | 38,7 | 37,3 | 36 |
| 54 | 51,1 | 50,2 | 49,3 | 48,5 | 47,7 | 46,9 | 45,4 | 43,9 | 42,5 | 41,1 | 39,7 | 38,3 | 37 |
| 55 | 52,1 | 51,2 | 50,3 | 49,5 | 48,7 | 47,9 | 46,4 | 44,9 | 43,5 | 42,1 | 40,7 | 39,3 | 38 |

Из полученных результатов, можно сделать вывод, что объем выхода мытой шерсти из невытой, и выход топса из мытой шерсти соответствует международному стандарту IWTO и возрастает относительно текущим показателям на производстве.

В процессе переработки отечественной тонкой шерсти по технологии первичной обработки и глубокой переработки шерсти на предприятии с полным циклом «немытая шерсть – трикотажная пряжа», итоговые показатели выхода топса из невытой шерсти по стандартам IWTO достигали 65-67%, что вышел предыдущих показателей на 10-12%.

Выводы по второй главе

1. Исследована непрерывная технология первичной обработки и глубокой переработки шерсти на предприятии с полным циклом «немытая шерсть – трикотажная пряжа». Определено влияние процессов первичной обработки шерсти на характеристики шерстяных волокон.

2. В процессе исследования произведен расчет прочностных характеристик шерстяного волокон в основных этапах переработки отечественной тонкой шерсти. Установлено, что при выбранном технологическом режиме волокна шерсти перерабатываются в более щадящем режиме, за счет чего улучшается качество продукта на выходе.

3. Исследован вопрос влияния мойки шерсти. В ходе исследования определено, что используемая вода из подземных минеральных источников с температурой 50-60⁰ С используемая в технологическом процессе, включающая в себя макро/микроэлементы позволяют очищать шерстяное волокно, дополнительно не разрушая его структуру.

4. Определено влияние относительной влажности в процессе сушки шерсти. Подобрана оптимальная температура сушки и оптимальная влажность шерсти, при которой возможно добиться наименьшей потери прочностных характеристик волокна, соответственно структура волокна будет подвергнута меньшим разрушением. Увеличение влажности воздуха на 1% приводит к снижению удельной разрывной нагрузки волокна. При температуре воздуха 90-120⁰С длины волокон шерсти сокращается на 15-20%, что приводит к чрезмерному свойлачиваемости волокон.

5. Построена модель определения выхода мытой шерсти и гребенной ленты по международным стандартам IWTO. На основе построенной модели разработан комплекс расчетов, для определения влияния факторов и характеристик шерсти при выходе мытой шерсти из немытой.

6. Установлено, что с увеличением диаметра волокна примерно до 22 мкм (одновременно с увеличением линейной плотности) его относительная разрывная нагрузка снижается медленно, свыше 22 мкм значительно быстрее.

7. Получены критерии оценки доли выхода волокнистой массы после процессов кардочесания и гребнечесания. Из поступившего объема шерсти на кардочесание и гребнечесание, зафиксирован очес: кардочесание – 13%, гребнечесание – 12,3%.

8. Выход топса из невыттой шерсти достиг показателей 67%, а потери шерстяных волокон находится в диапазон от 2,7-3% по международному стандарту IWTO. Полученные результаты превышают усредненные показатели на 6-8%.

ГЛАВА 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПУЧКА НИТЕЙ. ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАТЯЖЕНИЯ И ДЛИНЫ ОДИНОЧНЫХ НИТЕЙ НА СВОЙСТВА ПУЧКА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ НИТЕЙ

3.1 Определение прочности пучка неравномерных по разрывным характеристикам нитей

Предполагается, что на пучок действует продольная растягивающая нагрузка, значение которой монотонно возрастает от нулевого значения. В силу сделанных предположений нагрузка равномерно распределяется между волокнами.

Ясно, что фактически мы имеем дело с абстрактной математической моделью, в которой внешняя нагрузка распределяется равномерно между всеми работоспособными элементами системы. В дальнейшем будем для удобства использовать термин «пучок волокон» для обозначения указанной модели. Волокно назовем перегруженным, если усилие в нем равно его прочности или превосходит её [15].

При моделировании процесса разрушения пучка, когда волокно оказывается перегруженным, оно удаляется из пучка (разрушается), а суммарная нагрузка на пучок равномерно перераспределяется между оставшимися волокнами. Процесс нагружения рассматривается в квазистатической постановке: удаление перегруженных волокон и перераспределение нагрузки при неизменной текущей общей нагрузке считается происходящим мгновенно и заканчивается, когда перегруженных волокон не остаётся. Только после этого, если остались не удалённые волокна, продолжается монотонное увеличение нагрузки на пучок. Последний будем называть разрушенным, когда из него удалены все волокна. Критической нагрузкой назовем такое значение нагрузки на пучок, при котором разрушилось последнее волокно. Величину критической нагрузки, отнесённую к

исходному числу волокон N , будем называть критической удельной нагрузкой q_{br} .

Далее назовем пакетом разрушений (или просто пакетом) набор волокон, разрушившихся одновременно, т.е. при одной и той же нагрузке на пучок. Характеристиками пакета являются его порядковый номер (в рамках текущего процесса разрушения), объём (количество разрушившихся волокон) и значение нагрузки, при котором происходило разрушение волокон из данного пакета [18].

Сформулируем следующую общую задачу: оценить динамически, т.е. по ходу разрушения пучка, время, оставшееся до наступления обрывности. Более строго, по некоторому начальному участку процесса разрушения требуется оценить порядковый номер пакета, после которого пучок полностью разрушен, в последовательности пакетов и критическую удельную нагрузку. Ясно, что чем длиннее этот начальный участок, тем, вообще говоря, точнее будут полученные оценки. В то же время, сигнал о возможном сбое хотелось бы получить «не слишком поздно». Последнюю характеристику можно уточнять различными способами [45, 46].

В своей диссертационной работе [34, 35] Кузнецов А.А. провел испытание одиночных волокон на разрывных машинах. По результатам исследования были получены формулы расчета разрывной нагрузки в пересчете на одно волокно [79], а также рекомендации по определению разрывной нагрузки нити путем одновременного растяжения пучка. Определяется коэффициент, учитывающий снижение общей нагрузки на пучок.

Авторы в работе [36, 37] предлагают использовать характеристики неравномерности каждого свойства нити в пучке, и учитывать возможную корреляцию между различными свойствами нитей. В работе не определено, какими параметрами осуществлять подбор и характеристики закона распределения для решения задачи определения прочности пучка параллельных нитей. Исходя из выводов по данной работе, можно установить, что разрывное удлинение нити увеличивается при увеличении разрывной нагрузки.

Исходя из работы [36, 37], приведенные в ней исследования, говорят о том, что подобное доказательство взаимосвязи увеличения разрывного удлинения при увлечении разрывной нагрузки не всегда является верным.

В работе [28] был рассмотрен вопрос проектирования методики определения параметров распределения прочности одиночной нити. В результате исследований и проведенного комплекса испытания прочности нити, авторами получена модель, определяющая взаимосвязь между коэффициентами вариаций прочности комплексных K_H и элементарных нитей K_P :

$$K_H \approx \frac{1}{\beta} = \ln(1 + N * K_P^2) \quad (3.1)$$

Прочностные свойства пучка параллельных нитей напрямую зависят от прочности составляющих его нитей. Такую взаимосвязь можно определить, как функциональную зависимость в виде функции «нагрузка-удлинение».

Так как, нагрузка на пучок распределяется равномерно между всеми неразрушенными нитями, достаточно будет определить закон распределения для дальнейшего определения прочности пучка параллельных нитей. Решение задачи в дальнейшем может помочь в определении прочностных показателей крученных изделий и трикотажной пряжи.

Следовательно, при имеющихся работах на данный момент, где исследуется вопрос прогнозирования прочности пучка нитей, одной из важнейших проблем является чрезмерные трудозатраты на определение прочности и механических характеристик пучка нитей.

В работе [20] дано теоретическое решение задачи. Продолжение исследования данного вопроса было произведено в [19]. В данной работе произведена автоматизация процесса расчета прочности пучка нитей. Использован метод компьютерно-статистического моделирования с использованием различных законов распределения. Анализ и определение оптимального закона распределения, отвечающего требованиям поставленной задачи и который лежит в полном согласии с теорией.

В таблице 17 приведены значения коэффициента использования прочности (КИП) и коэффициента вариации разрывной нагрузки пучка нитей при различном

числе нитей в пучке и неравномерности их разрывной нагрузки. Расчеты осуществлены на основании работы [19].

В соответствии с изложенным, прочность пучка y можно представить в виде:

$$y = \max(nx_{(1)}; (n - 1)x_2; \dots x_n) \quad (3.2)$$

Где n – количество нитей в пучке, а x – порядковый номер нити.

Таблица 17 – Результаты расчета прочностных характеристик пучка нитей

| Число нитей в пучке | Коэффициент вариации одиночной нити по разрывной нагрузке, % | Коэффициент использования прочности | Коэффициент вариации разрывной нагрузки пучка, % |
|---------------------|--|-------------------------------------|--|
| 2 | 5 | 0,97 | 4,3 |
| | 10 | 0,94 | 8,8 |
| | 15 | 0,92 | 13,5 |
| | 20 | 0,89 | 18,2 |
| | 25 | 0,87 | 22,3 |
| 3 | 5 | 0,96 | 3,9 |
| | 10 | 0,92 | 8,2 |
| | 15 | 0,87 | 12,5 |
| | 20 | 0,84 | 16,2 |
| | 25 | 0,81 | 19,6 |
| 5 | 5 | 0,94 | 3,6 |
| | 10 | 0,88 | 7,6 |
| | 15 | 0,83 | 11,1 |
| | 20 | 0,79 | 14,1 |
| | 25 | 0,76 | 16,8 |
| 10 | 5 | 0,92 | 3,2 |
| | 10 | 0,85 | 6,2 |
| | 15 | 0,79 | 8,6 |
| | 20 | 0,75 | 10,8 |
| | 25 | 0,71 | 12,8 |
| 20 | 5 | 0,91 | 2,7 |
| | 10 | 0,83 | 4,9 |
| | 15 | 0,77 | 6,6 |
| | 20 | 0,72 | 8,1 |
| | 25 | 0,68 | 9,7 |
| 40 | 5 | 0,90 | 2,3 |
| | 10 | 0,81 | 3,8 |
| | 15 | 0,75 | 4,9 |
| | 20 | 0,70 | 6,1 |
| | 25 | 0,66 | 7,4 |

Продолжение таблицы 17

| | | | |
|----------|----|------|-----|
| 80 | 5 | 0,89 | 1,8 |
| | 10 | 0,80 | 2,9 |
| | 15 | 0,74 | 3,6 |
| | 20 | 0,69 | 4,4 |
| | 25 | 0,65 | 5,3 |
| ∞ | 5 | 0,88 | 0 |
| | 10 | 0,79 | 0 |
| | 15 | 0,73 | 0 |
| | 20 | 0,67 | 0 |
| | 25 | 0,63 | 0 |

Значения КИП убывают с ростом этих величин. Трудности определения характеристик пучка при больших значениях n делают актуальной задачу оценки предельных значений КИП при числе нитей в пучке, стремящемся к бесконечности:

где $X(i)$ – порядковые статистики разрывной нагрузки нитей. Разделив обе части равенства (5) на $n\bar{x}$ (где \bar{x} – математическое ожидание разрывной нагрузки нити), получим КИП пучка:

$$K = \max\left(y_{(1)}; \left(1 - \frac{1}{n}\right)y_{(2)}; \dots; \left(\frac{1}{n}\right)y_{(n)}\right) \quad (3.3)$$

где $y_i = \frac{x_i}{\bar{x}}$ – порядковые статистики нормированной разрывной нагрузки одиночной нити.

Асимптотическое распределение максимума для одинаково распределённых независимых случайных величин были найдены Б.В.Гнеденко. Здесь же величины:

$$Z_i = \left(1 - \frac{i-1}{n}\right)y_{(i)} \quad (3.4)$$

имеют различные распределения и к тому же зависимы. Известно, что при больших n величины $y(i)$ распределены асимптотически нормально с математическим ожиданием

$$\overline{y_{(i)}} = \lambda_i \quad (3.5)$$

где λ_i – квантиль распределения нормированной разрывной нагрузки нитей:

$$R_1(\lambda_i) = \frac{i}{n} \quad (3.6)$$

Обозначив λ_i через x и подставляя (10) и (11) в (8), получаем, что при $n \rightarrow \infty$

$$K \rightarrow \max(1 - R_1(x)) x \quad (3.7)$$

Это выражение было получено Daniels H.E.[117], а также Morton W.E. [118] – для случая пропорциональной зависимости между нагрузкой и удлинением.

Так как при выводе КИП не использовали функцию нагрузки от удлинения, то метод вычисления КИП верен для произвольной зависимости. Известно, что дисперсия величин $y(i)$ асимптотически обратно пропорциональна n . Однако дисперсия максимума величин Zi должна убывать медленнее, поскольку значение i , при котором достигается максимум, является случайной величиной. Поэтому коэффициент вариации разрывной нагрузки пучка уменьшается не пропорционально корню из n , а медленнее. Это явление подтверждается данными таблицы 17.

Если бы коэффициент вариации пучка нитей по разрывной нагрузке убывал бы обратно пропорционально корню из числа нитей, то эта зависимость в координатах $(\ln C); \ln n$ изображалась бы прямой линией.

H. Daniels доказал справедливость этого утверждения при большом числе нитей в пучке. Найденная нами формула в [3] позволяет получить точные значения КИП и C при любом числе нитей.

3.2 Моделирование прочности пучка параллельных нитей

Для расчета прочности пучка нитей была разработана программа в среде VBA, алгоритм работы которой представлен блок-схемой на рисунке 8. Моделирование происходит по трем законам:

- а) закон Гука;
- б) Нормальное распределение;
- в) Гамма-распределение.

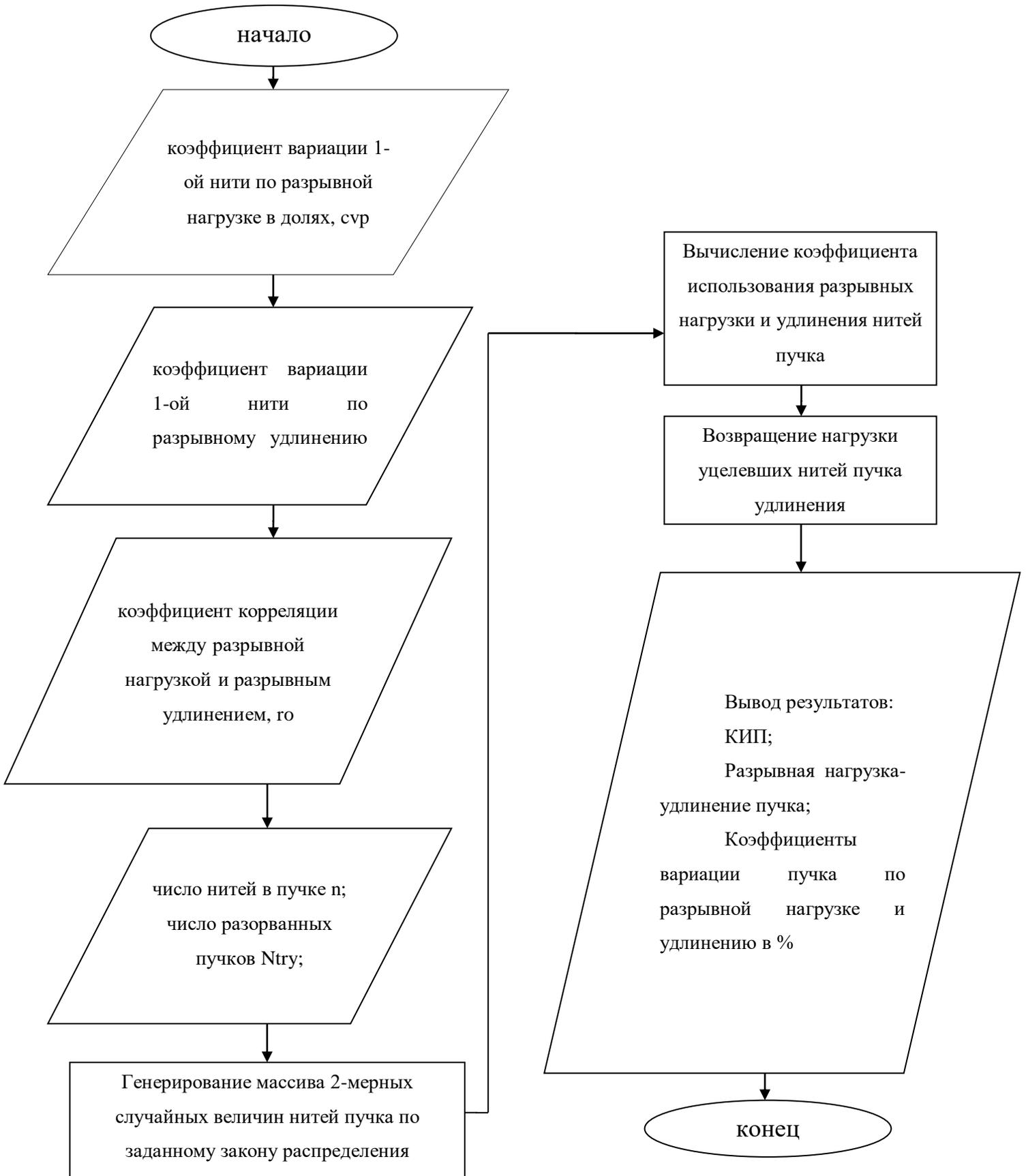


Рисунок 8 – Блок-схема процесса моделирования прочности пучка параллельных нитей

Схема Daniels Н.Е. [117] с незначительным изменением была перенесена для решения проблемы прочности при растяжении однонаправленного композита. В основу этой схемы полагаются некоторые упрощающие предположения, а именно, считается, что модуль упругости всех волокон одинаков.

В работах [29,43] Кузнецов А.А, Назаренко Е.В. и др. разработали имитационную модель процесса растяжения и разрыва пучка однородных волокон для оценки влияния физико-механических свойств волокон. Исходя из работ, установлено, что построенная имитационная модель применима только для хлопкового, вязкого, льняного, полиэфирного волокна. Полученная модель может быть использована при дальнейшем проведении работ по созданию методики прогнозирования физико-механических свойств пряжи. Полученную модель, с незначительным изменением можно использовать для исследования процесса растяжения и разрыва пучка шерстяных нитей.

В работе [3] исследован вопрос прогнозирования прочности пучка нитей. Получены формулы для расчета разрывной нагрузки нити при помощи различных функций распределения. Произведен расчет математического ожидания и дисперсия коэффициента использования прочности. Доказано, что с ростом числа нитей в пучке количество членов суммы математического ожидания стремительно возрастает [14]. Разработан алгоритм решения задачи для принятой нестационарной случайной функции нагрузка – удлинение одиночной нити для компьютерного моделирования.

Алгоритм решения задачи для принятой нестационарной случайной функции нагрузка – удлинение одиночной нити.

1. Генерация n случайных величин X_i с заданным типом закона распределения вероятностей, математическим ожиданием 1 и заданным коэффициентом вариации.

2. Сортировка полученного массива чисел по возрастанию: $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \dots \leq x_n$ Нахождение максимума Max из величин $x_1 * n, x_2 * (n - 1), x_3 * (n - 2) \dots x_n$

3. Определение коэффициента использования прочности: $KIP = Max/n$.

4. Повторение п.п. 1 - 3 с размещением полученных значений KIP в массиве. Число повторений диктуется статистической точностью.

5. Вычисление статистических характеристик распределения KIP пучка нитей: среднего значения, коэффициента вариации, асимметрии и эксцесса.

Схема работы представлена на рисунке 8. Указанные действия повторяются для всех n образцов, и их результаты записываются в массив, который позволяет определить: коэффициент вариации KIP, разрывную нагрузка-удлинение - «Удл_разр», коэффициент вариации пучка по разрывному удлинению в % - «CV удл», коэффициент вариации пучка по разрывной нагрузке в % - «CV KIP».

В ходе исследования произведено испытание нитей с номинальной плотностью 58,8 текс. Анализ показал, что диаграмма «нагрузка-удлинение» близка к линейной, а коэффициент корреляции между разрывной нагрузкой и принимает значения в пределах 0,85 – 0,95. Это свидетельствует о возможности применения рассмотренной модели [3].

Результаты статистического моделирования разрыва пучка нитей по закону Гука приведены в таблице А.1, приложение А.

По полученным результатам моделирования можно сделать выводы: что при увеличении количества нитей в пучке, коэффициент использования прочности падает. Так же можно заметить, что при уменьшении коэффициента вариации по разрывной нагрузке в долях, KIP увеличивается, но не значительно. Это объясняется тем, что коэффициент использования прочности нитей, входящих в крученую нить, обусловлен разной прочностью каждой нити, он тем ниже, чем выше неровнота (коэффициент вариации) этих нитей по прочности. При уменьшении коэффициента вариации по разрывному удлинению в долях KIP увеличивается значительно. Зависимости и влияние каждого фактора приведены в таблицах и графиках ниже [15,16].

В таблице 18 приведены значения коэффициента использования прочности и коэффициента вариации разрывной нагрузки пучка нитей при различном количестве нитей в пучке и неравномерности их разрывной нагрузки.

Таблица 18 – Результаты моделирования прочностных характеристик пучка нитей при помощи закона Гука

| Количество нитей в пучке | Коэффициент вариации одиночной нити по разрывной нагрузке, % | Коэффициент использования прочности | Коэффициент вариации разрывной нагрузке пучка, % |
|--------------------------|--|-------------------------------------|--|
| 2 | 5 | 0,90 | 8,6 |
| | 10 | 0,89 | 11,7 |
| | 15 | 0,89 | 14,9 |
| | 20 | 0,89 | 18,2 |
| | 25 | 0,89 | 19,9 |
| 16 | 5 | 0,73 | 6,3 |
| | 10 | 0,73 | 7,1 |
| | 15 | 0,74 | 7,1 |
| | 20 | 0,74 | 8,2 |
| | 25 | 0,74 | 8,6 |
| 64 | 5 | 0,70 | 3,8 |
| | 10 | 0,70 | 3,6 |
| | 15 | 0,70 | 3,8 |
| | 20 | 0,71 | 4,1 |
| | 25 | 0,71 | 4,6 |
| 128 | 5 | 0,69 | 2,7 |
| | 10 | 0,69 | 2,6 |
| | 15 | 0,69 | 2,7 |
| | 20 | 0,69 | 2,9 |
| | 25 | 0,70 | 3,1 |

Можно сделать вывод, что при малом количестве нитей в пучке коэффициент вариации влияет значительно, нежели при большом количестве нитей, а также, когда в пучке находится всего 2 нити, КИП уменьшается. Но при увеличении числа нитей в пучке КИП начинает возрастать в зависимости от увеличения доли коэффициента вариации. Но при всем при этом, коэффициент

вариации одиночной нити влияет не значительно (рисунок 9) на коэффициент вариации разрывной нагрузки пучка при большом числе нитей в пучке.

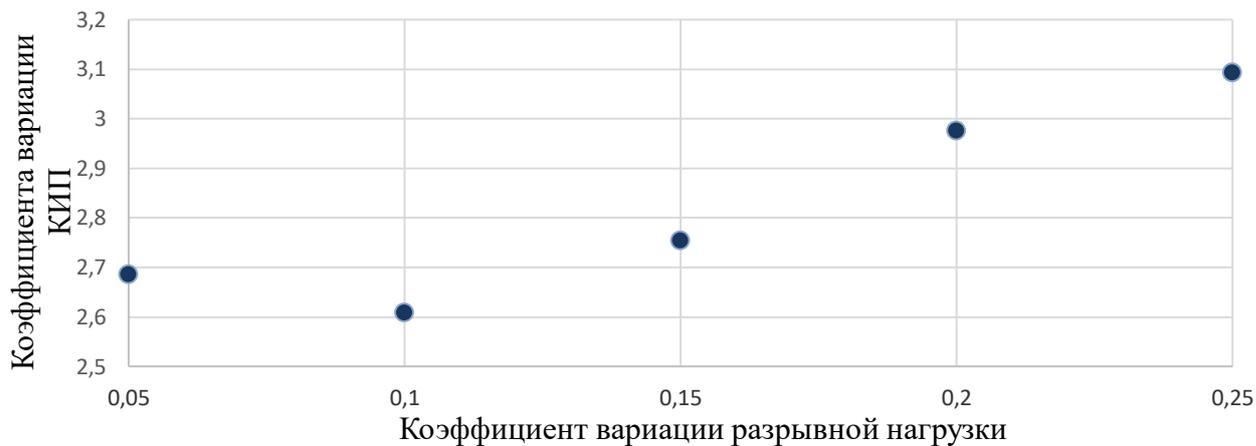


Рисунок 9 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на коэффициент вариации разрывной нагрузки

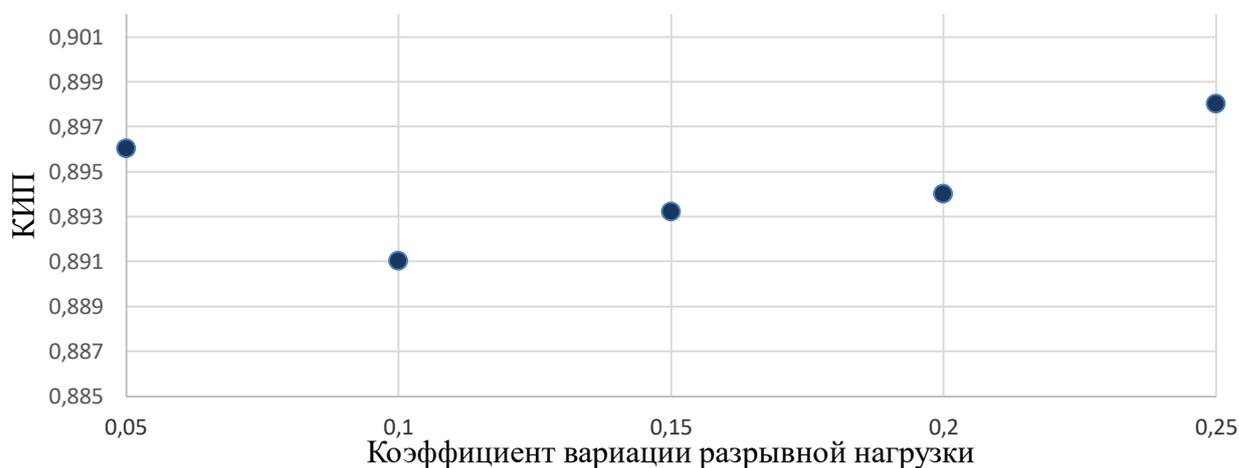


Рисунок 10 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 2-ух нитях в пучке

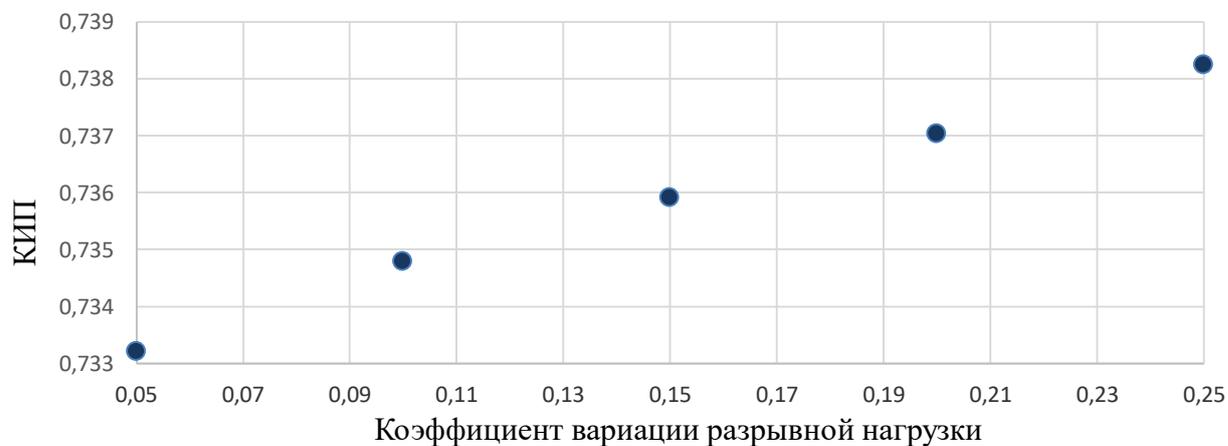


Рисунок 11 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 16-ти нитях в пучке

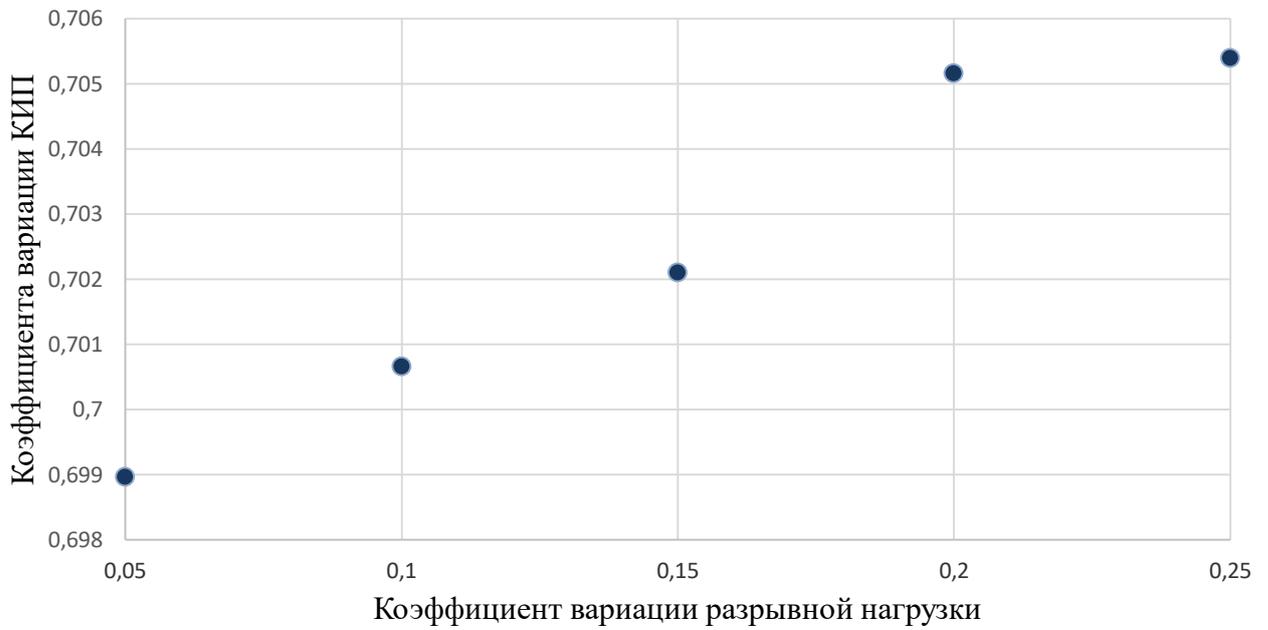


Рисунок 12 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 64-х нитях в пучке

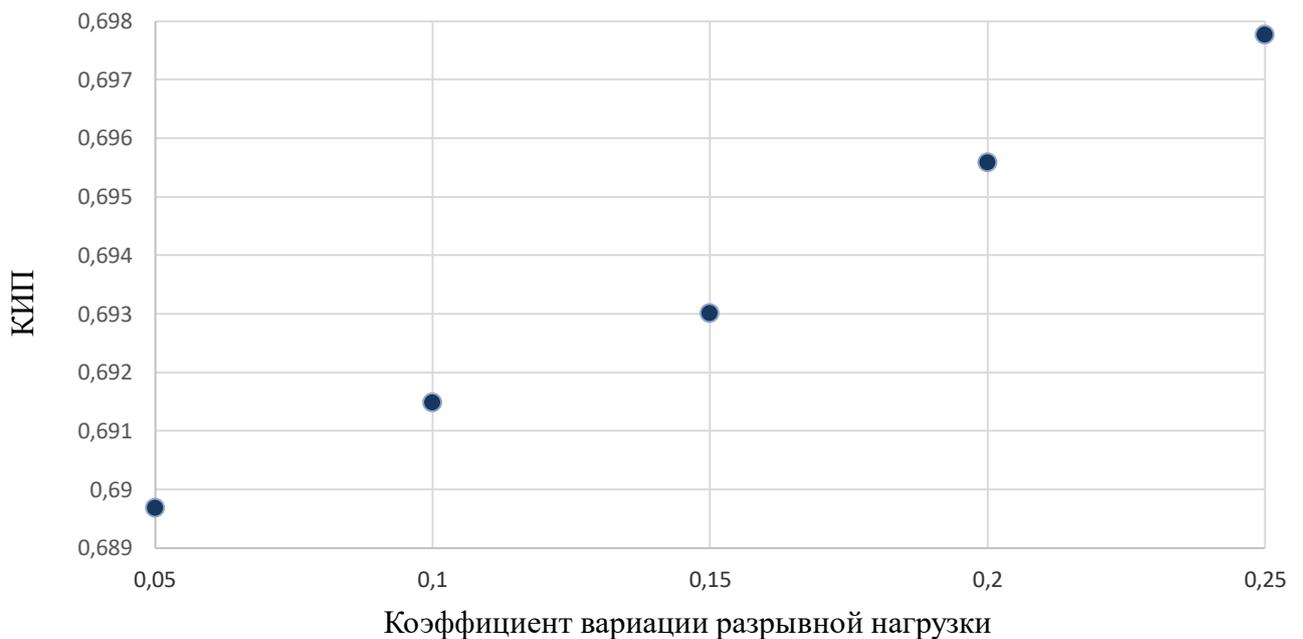


Рисунок 13 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 128-ми нитях в пучке

Рассмотрим эту же ситуацию на примере нормального закона распределения и сравним полученные результаты.

В [74, 75, 76] описано применение нормального закона для определения показателей прочности пучка нитей.

Результаты статистического моделирования разрыва пучка нитей по нормальному закону распределения приведены в таблице А.2, приложение А.

Из результатов наглядно видно, чем больше нитей находится в пучке, то КИП снижается. Так же видна зависимость от коэффициента вариации одиночной нити по разрывной нагрузке, и влияет мало особенно при большем числе нитей в пучке. Коэффициент корреляции влияет несущественно.

Таблица 19 – Результаты моделирование прочности пучка при помощи закона нормального распределения

| Количество нитей в пучке | Коэффициент вариации одиночной нити по разрывной нагрузке, % | Коэффициент использования прочности | Коэффициент вариации разрывной нагрузки пучка, % |
|--------------------------|--|-------------------------------------|--|
| 2 | 5 | 0,90 | 8,9 |
| | 10 | 0,89 | 11,3 |
| | 15 | 0,89 | 14,3 |
| | 20 | 0,89 | 17,4 |
| | 25 | 0,88 | 20,7 |
| 16 | 5 | 0,74 | 6,2 |
| | 10 | 0,73 | 6,5 |
| | 15 | 0,73 | 7,3 |
| | 20 | 0,74 | 7,9 |
| | 25 | 0,73 | 8,8 |
| 64 | 5 | 0,70 | 3,5 |
| | 10 | 0,70 | 4,0 |
| | 15 | 0,70 | 4,1 |
| | 20 | 0,70 | 4,2 |
| | 25 | 0,70 | 4,4 |
| 128 | 5 | 0,69 | 2,6 |
| | 10 | 0,69 | 2,7 |
| | 15 | 0,69 | 2,9 |
| | 20 | 0,69 | 2,8 |
| | 25 | 0,70 | 3,3 |

На графиках более подробно изображено зависимость коэффициента вариации одиночной нити по разрывной нагрузке к КИП.

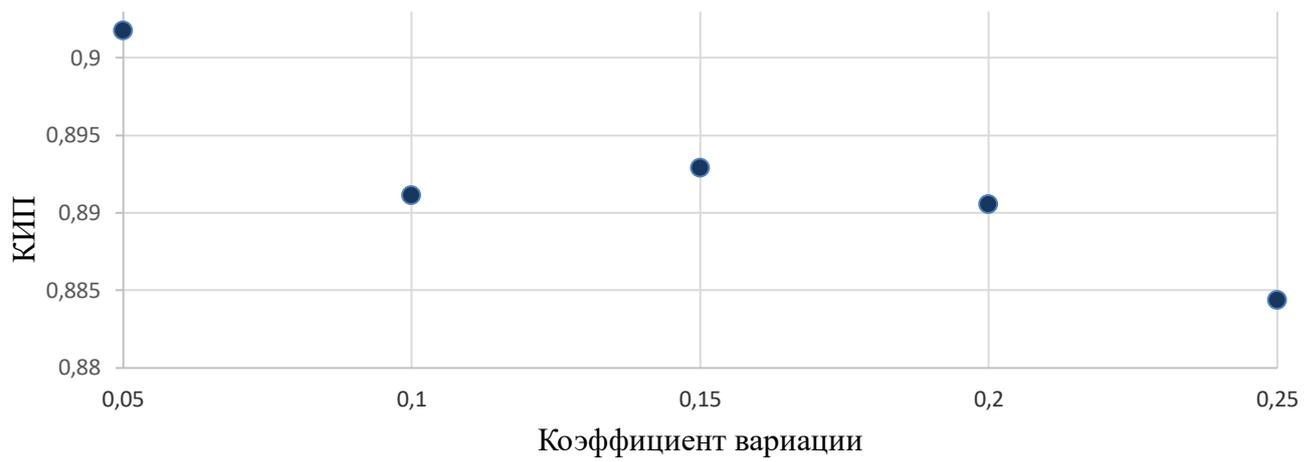


Рисунок 14 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 2-х нитях в пучке

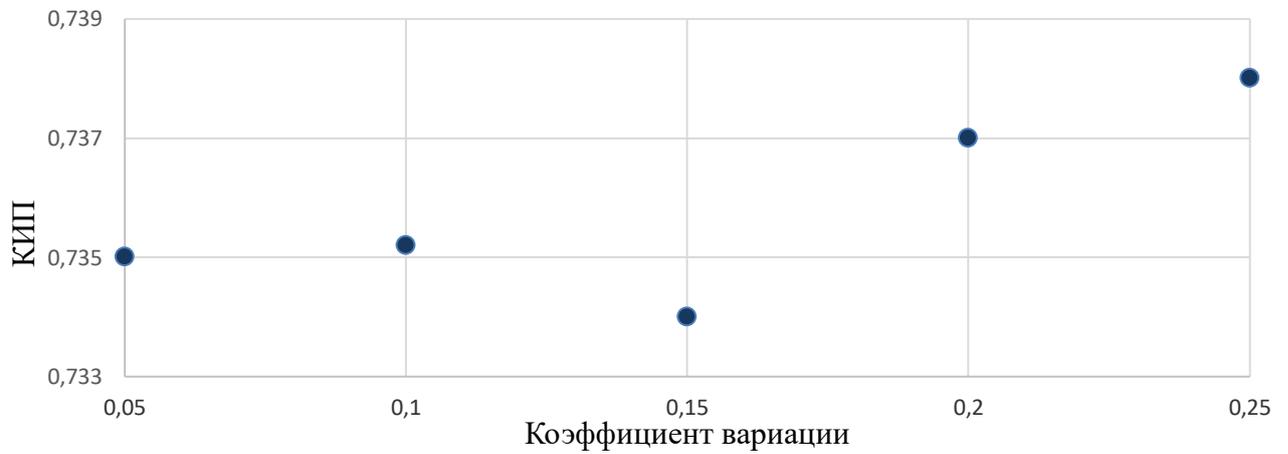


Рисунок 15 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 16-ти нитях в пучке

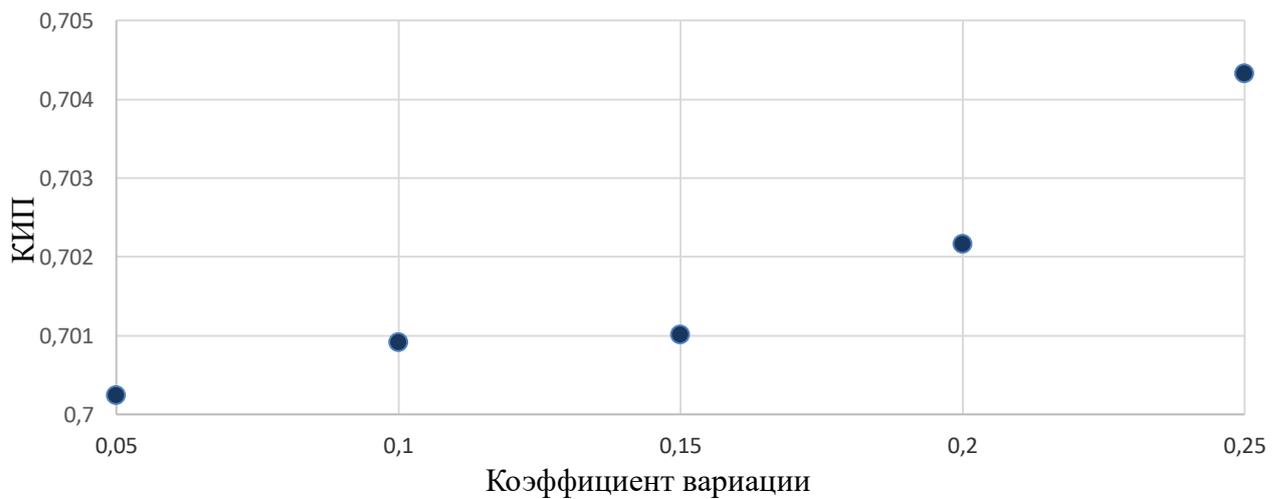


Рисунок 16 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 64-х нитях в пучке

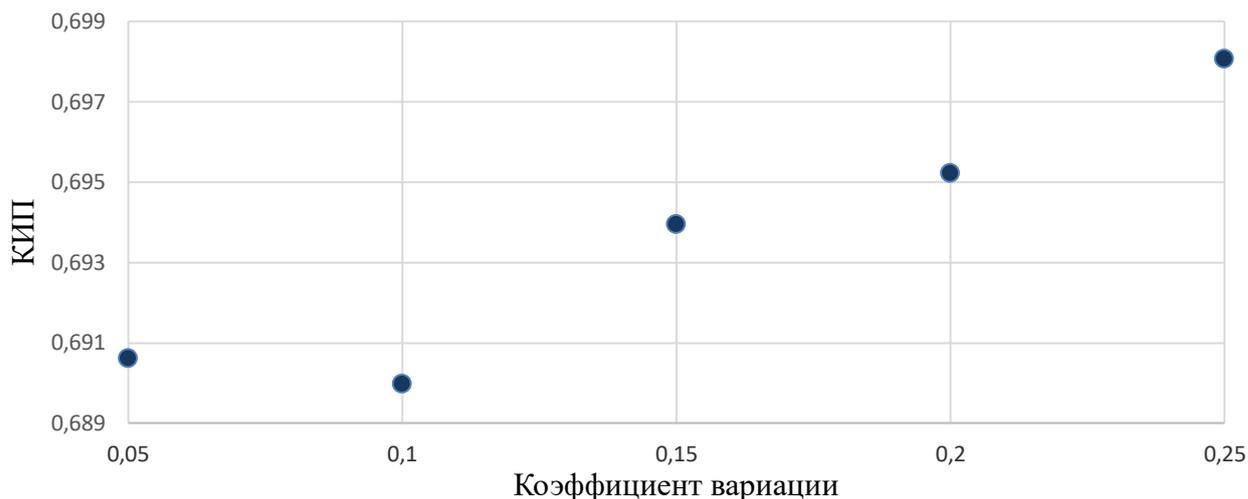


Рисунок 17. Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КВП при 128-ми нитях в пучке

Как видно коэффициент вариации одиночной нити совсем не значительно влияет на КВП. При значительном изменении доли (5%-25%), коэффициент использования прочности меняется $\sim 0,001$.

Показано, что коэффициент корреляции практически не влияет на результат, то же самое можно сказать о коэффициенте вариации по разрывной нагрузке, особенно при большом числе нитей в пучке. После этого можно перейти к использованию двумерного гамма-распределения, поскольку оно не предусматривает, в отличие от нормального, отрицательных разрывных нагрузок.

Моделирование гамма-распределения. Результаты статистического моделирования разрыва пучка нитей по закону гамма-распределения приведены в таблице А.3, приложение А. При моделировании гамма-распределения не используется коэффициент корреляции.

В проведенном опыте, наблюдаются те же зависимости, что и при моделировании нормального распределения. Из результатов наглядно видно, чем больше нитей находится в пучке, то коэффициент использования прочности снижается. Также, можно наблюдать взаимосвязь коэффициента вариации одиночной нити по разрывной нагрузке: чем больше количество нитей в пучке, тем меньше он влияет на прочность.

Проведено отдельное моделирование гамма-распределения, где показана зависимость коэффициента вариации по разрывной нагрузке. При моделировании

коэффициент вариации по разрывному удлинению был принят неизменным (10%), изменялся лишь коэффициент вариации по разрывной нагрузке при различном количестве нитей в пучке.

Таблица 20 – Результаты моделирование прочности пучка при помощи гамма-распределения

| Количество нитей в пучке | Коэффициент вариации одиночной нити по разрывной нагрузке, % | Коэффициент использования прочности | Коэффициент вариации разрывной нагрузки пучка, % |
|--------------------------|--|-------------------------------------|--|
| 2 | 5 | 0,91 | 7,7 |
| | 10 | 0,90 | 10,2 |
| | 15 | 0,90 | 12,6 |
| | 20 | 0,90 | 16,9 |
| | 25 | 0,90 | 19,4 |
| 16 | 5 | 0,74 | 6,1 |
| | 10 | 0,74 | 6,4 |
| | 15 | 0,74 | 6,8 |
| | 20 | 0,74 | 7,8 |
| | 25 | 0,75 | 8,9 |
| 64 | 5 | 0,71 | 3,6 |
| | 10 | 0,71 | 3,7 |
| | 15 | 0,71 | 3,9 |
| | 20 | 0,71 | 4,4 |
| | 25 | 0,71 | 4,7 |
| 128 | 5 | 0,70 | 2,6 |
| | 10 | 0,70 | 2,7 |
| | 15 | 0,70 | 2,9 |
| | 20 | 0,70 | 3,0 |
| | 25 | 0,70 | 3,5 |

Более подробно показано на рисунках (18, 19, 20, 21).

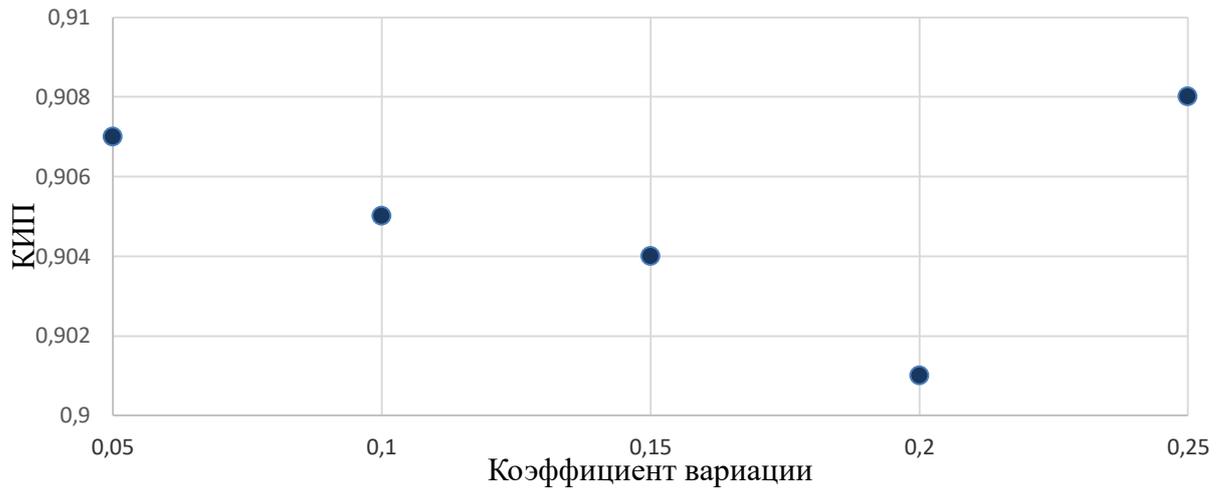


Рисунок 18 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 2-х нитях в пучке

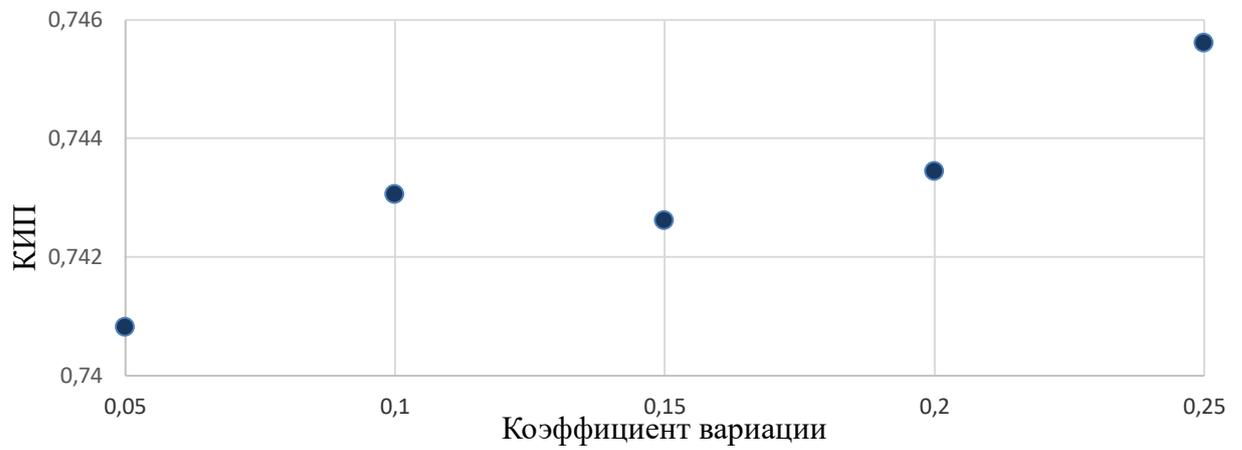


Рисунок 19 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 16-ти нитях в пучке

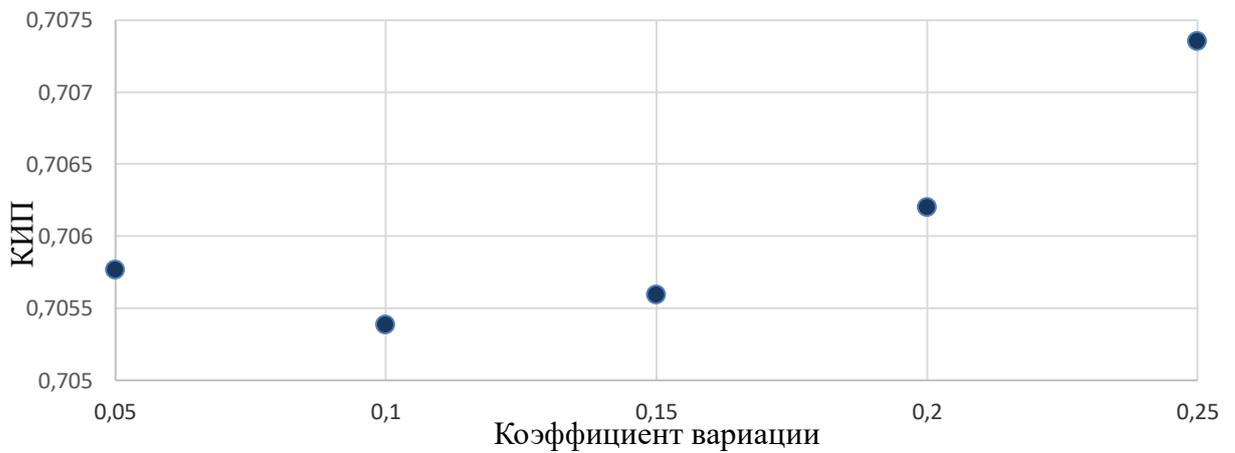


Рисунок 20 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 64-х нитях пучке

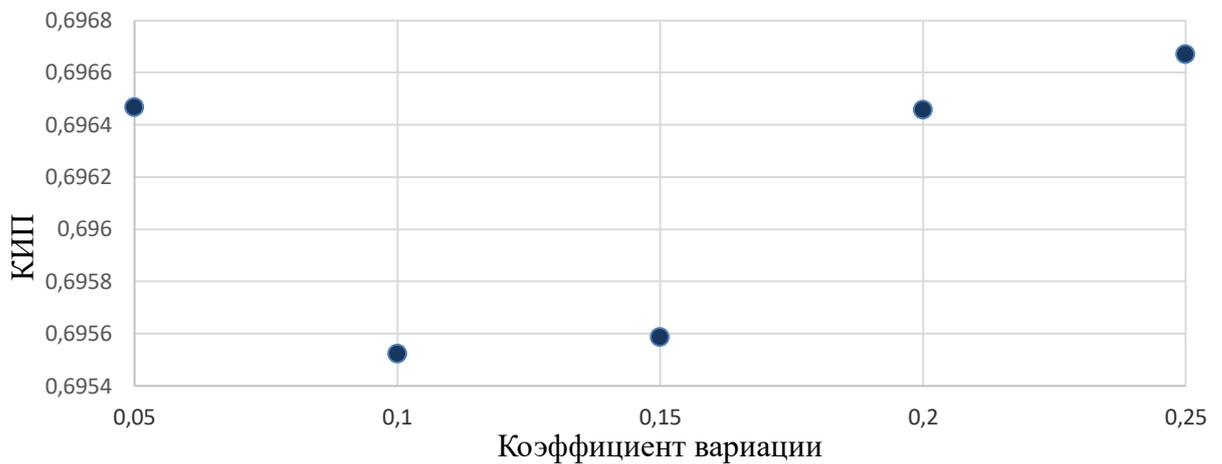


Рисунок 21 – Влияние коэффициента вариации одиночной нити на КИП при 128-ми нитях в пучке.

Можно сделать заключение, что чем меньше количество нитей в пучке, тем больше влияние коэффициента вариации по разрывной нагрузке на прочность, чем при большом числе нитей. Данная закономерность хорошо прослеживается при двух нитях в пучке – коэффициент использования прочности изменяется на $\sim 0,1$, тогда как при 128 нитях в пучке коэффициент использования прочности меняется лишь $\sim 0,001$, что практически не значительно.

Как влияет коэффициент вариации по разрывной нагрузке при увеличении доли (5-25%), на КИП, при 128-ми нитях в пучке, при моделировании нормальным распределением и гамма показано на графике.

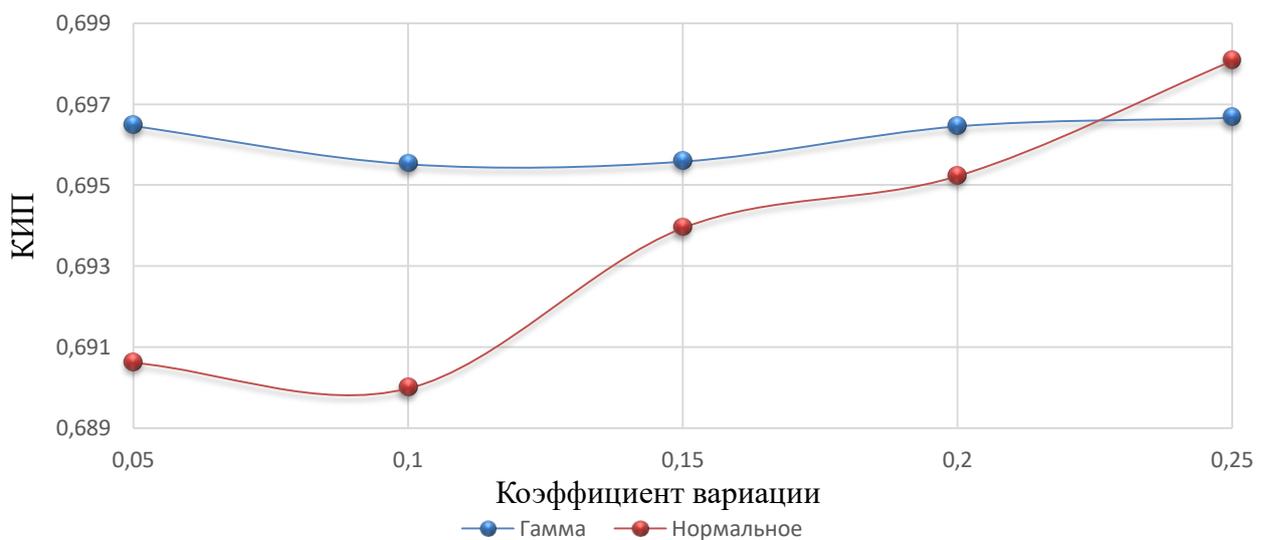


Рисунок 22 – Отношение коэффициента вариации по разрывной нагрузке

По графику видно, что при моделировании гамма-распределения, коэффициент вариации по разрывной нагрузке меньше влияет на коэффициент использования прочности, чем при использовании нормального распределения.

Если построить зависимость коэффициента вариации пучка (CV) в координатах $(CV, 1/\sqrt{n})$, то видно, что с ростом n график стремится к прямой-асимптоте, коэффициенты которой находятся в полном согласии с теорией, изложенной у Daniels Н.Е. [117]. На рисунке 23 указаны точки разрыва пучка при различном количестве нитей.

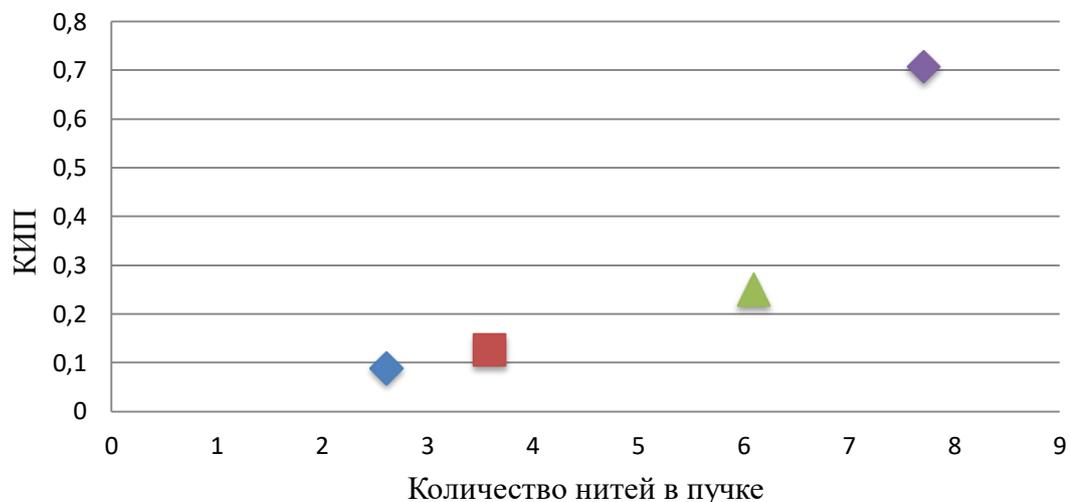


Рисунок 23 – Отношение коэффициента вариации пучка к количеству нитей в пучке

В исследовании вопроса в сотрудничестве с Винтером Ю.М. [17], нами было доказано, что компьютерное моделирование позволяет выявить наилучший показатель неравномерности распределения компонентов по сечению пряжи в тангенциальном направлении без проведения очень большого количества трудоемких экспериментов.

Выводы по третьей главе

1. Разработана формула для расчета механических характеристик пучка неравномерных по разрывным характеристикам нитей.
2. Установлен коэффициент использования прочности. Разработаны формулы, позволяющие определить оптимальный показатель прочности, исходя из значения коэффициента. Приведены результаты статистического моделирования нитей, коэффициента использования прочности нитей и коэффициент вариации по разрывной нагрузке пучка нитей. Доказано, что при большем количестве нитей коэффициент вариации влияет незначительно на прочность. Так, при двух нитях в пучке с поступательным увеличением коэффициента вариации нити, коэффициент вариации пучка увеличивается в среднем на ~3%. При 128-ми нитях в пучке с поступательным увеличением коэффициента вариации нити, коэффициент вариации пучка увеличивается в среднем на 0,2%.
3. Разработанная система позволяет осуществить моделирование прочности механических характеристик при помощи трех законов распределения: гамма, нормальный и Гука. Проведен сравнительный анализ результатов распределения.
4. Полученные результаты моделирования показали, что по мере роста коэффициента вариации пучка уменьшается коэффициент использования прочности.
5. Получена прямая взаимосвязь между коэффициентом использования прочности и коэффициентом вариации.
6. Из результатов наглядно видно, чем больше нитей находится в пучке, то коэффициент использования прочности снижается. Приведена зависимость прочности от коэффициента вариации по разрывной нагрузке. Доказано, что наибольшее влияние оказывается при большем количестве нитей в пучке.
7. Достигнуты максимально возможные показатели коэффициента использования прочности одиночной шерстяной нити – 0,93.

8. Доказано, что с ростом количества нитей в пучке, точки разрыва на графике стремятся к прямой-асимптоте, коэффициенты которой находятся в полном согласии с теорией, изложенной у Daniels H.E.

ГЛАВА 4. РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕРСТЯНОЙ ТРИКОТАЖНОЙ ПРЯЖИ

4.1. Исследование и определение прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи

Под прочностью такого изделия, как трикотажная пряжа, понимается то усилие, которое необходимо для его разрушения при растяжении. Поскольку трикотажная пряжа сформирована из ряда элементов нитей, рассмотрим изделие, сформированное без каких-либо нарушений структуры и состоящий из совершенно одинаковых элементов, то есть разрушение такого изделия происходит при одновременном разрыве всех элементов. Для определения физико-механических характеристик, проектирования свойств изделия, исходя из свойств составляющих его элементов, при разработке структур, соответствующих максимальному использованию прочности элементов в прочности готового изделия. В большинстве случаев, пользуются математическими выражениями, характеризующими форму, размеры, взаимное расположение, положение в пространстве, а также силовое взаимодействие и геометрию деформированных элементов, составляющих изделие, при его формировании под той или иной нагрузкой. Совокупность этих математических выражений представляет собой математическую модель изделия.

Построением математических моделей трикотажной пряжи занимались многие исследователи, однако, нигде в литературе мы не встречали достаточно полного математического описания структуры и условий равновесия элементов.

В связи с вышеизложенным, возникла задача разработки самостоятельной математической модели трикотажной пряжи сквозного переплетения, на базе которой можно было бы проводить всесторонние исследования его свойств.

Математическая модель трикотажной пряжи, построена для изделия, состоящего из прядей, и характеризует его структуру независимо от структуры самих прядей. Этой моделью мы воспользуемся для исследования прочностных

характеристик трикотажной пряжи, в зависимости от составляющих ее свойств, независимо от того, каким образом эти свойства приобретены. Такой подход необходим, прежде всего, для того, чтобы определить каково влияние структуры пряжи на его прочностные характеристики [58, 61].

Рассмотрим напряжения и деформации, возникающие в трикотажной пряже при приложении к нему растягивающей нагрузки. Как было показано в [61] длина пряжи входящей в один шаг крутки трикотажной пряжи определяется уравнением (4.1). Если принять, что данное уравнение справедливо при любом растяжении изделия, иными словами, при осевых деформациях пряжи прядь на плоскости остается прямолинейной, то можно записать:

$$L_o = \sqrt{H_o^2 + d_o^2(\pi + 4)^2} \quad (4.1)$$

где: L_o - длина пряжи в одном шаге крутки;

H_o - величина шага крутки;

d_o - диаметр пряжи крученой трикотажной пряжи при отсутствии растягивающей нагрузки.

При приложении к трикотажной пряже нагрузки, растягивающей ее вдоль оси, каждый шаг крутки удлинится на величину ΔH . Тогда длина пряжи L^* , входящая в один шаг крутки растянутой трикотажной пряжи будет равна:

$$L^* = \sqrt{(H_o + \Delta H)^2 + (d^*)^2(\pi + 4)^2} \quad (4.2)$$

где: d^* - диаметр пряжи растянутой трикотажной пряжи.

Если принять, что пряди в пряже не деформируют друг друга при растяжении изделия, то

$$d^* = f_1(\varepsilon) \quad (4.3)$$

где: ε - относительное удлинение пряжи при растяжении трикотажной пряжи.

Относительное удлинение пряжи, можно определить по формуле:

$$\varepsilon = \frac{L^* + L_o}{L_o} \quad (4.4)$$

Подставив значение d^* из выражения (3) в (2), а затем значения L_o и L^* из

выражений (1) и (2) в уравнение (4) после преобразования получим:

$$(\varepsilon + 1)^2 [H_0^2 + d_0^2(\pi + 4)^2] - (\pi + 4)^2 f_1^2(\varepsilon) - (H_0 + \Delta H)^2 = 0 \quad (4.5)$$

Таким образом, если известен характер функции $f_1(\varepsilon)$ то по уравнению (1-3-5) можно определить относительное удлинение прядей трикотажной пряжи при любом заданном его растяжении (ΔH). При этом относительное удлинение самого изделия определяется по формуле:

$$\theta = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (4.6)$$

Если известна функция связи между нагрузкой, действующей на прядь, и ее относительным удлинением, обусловленным этой нагрузкой

$$N = f(\varepsilon) \quad (4.7)$$

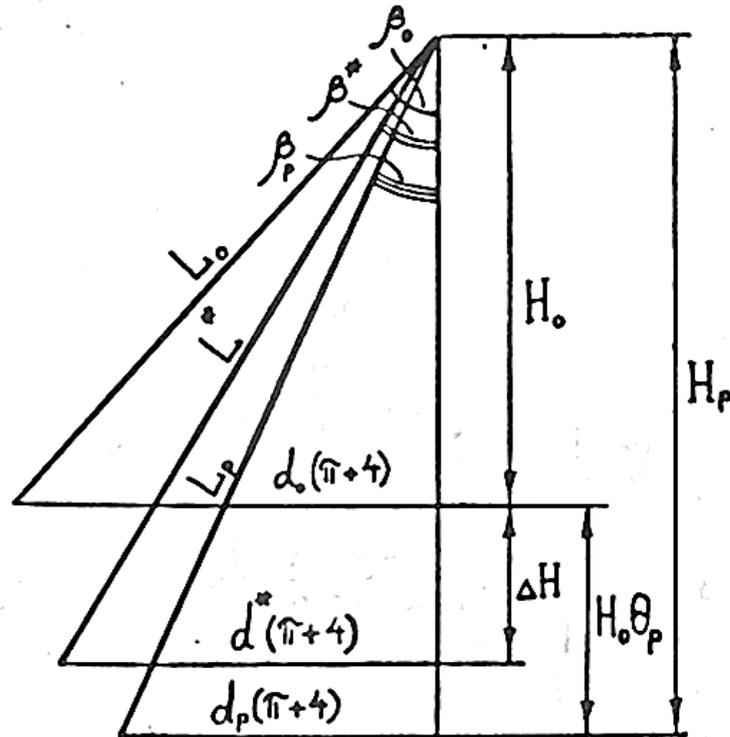


Рисунок 24 – Развертка оси пряди трикотажной пряжи до и после нагрузки

На рисунке 24 показана развертка оси пряди трикотажной пряжи до и после нагрузки. Как видно из рисунка 24:

$$\cos \beta^* = \frac{H_0 + \Delta H}{L^*} = \frac{(\theta + 1)H_0}{L^*} \quad (4.8)$$

Подставив в выражение:

$$G = 8N \cos \beta^* \quad (4.9)$$

где: β^* - угол связи трикотажной пряжи после приложения нагрузки.

значения входящих в него параметров из выражений (4.7, 4.9, 4.1, 4.2), получим:

$$G = \frac{(\theta+1)H_o}{\sqrt{(\theta+1)^2 H_o^2 + (\pi+4)^2 f_1^2(\varepsilon)}} F(\varepsilon) \quad (4.10)$$

Таким образом, задавшись относительным удлинением трикотажной пряжи θ и определив относительное удлинение прядей в нем ε по формуле (4.4), можно по формуле (4.10) определить ту нагрузку G , которая вызовет заданное удлинение. Используя выражения (4.4 и 4.10), можно решить и обратную задачу - исходя из заданной нагрузки на пряжу, определить напряжения и деформации прядей, а также удлинение трикотажной пряжи в целом. Для этого достаточно заменить в выражении (5) $H_o + \Delta H$ на $H_o(\theta + 1)$ и решить совместно систему уравнений (4.4; 4.10).

Наиболее важным критерием оценки прочностных характеристик изделия является коэффициент использования прочности. Этот показатель равен отношению прочности изделия к суммарной прочности входящих в него элементов и отражает степень использования прочности сырья в готовом продукте. В качестве сырья мы будем рассматривать трикотажную пряжу. Тогда коэффициент использования прочности прядей в трикотажной пряже K будет равен:

$$\text{КИП} = \sqrt{1 - \frac{(\pi+4)^2 f_1^2(\varepsilon_p)}{(\varepsilon_p+1)^2 [H_o^2 + d_o^2 (\pi+4)^2]}} \quad (4.11)$$

Как видно из выражения (20), коэффициент использования прочности прядей в трикотажной пряже тем больше, чем больше, при прочих равных условиях, начальный шаг крутки H_o . При бесконечно большом шаге крутки трикотажной пряжи превращается в параллельный пучок прядей, прочность которого равна сумме прочностей, входящих в него прядей, при условии одновременности их разрыва. Очевидно, коэффициент использования прочности

прядей в подобном изделии равен единице.

Поскольку возможности изменения шага крутки для трикотажной пряжи несколько шире, чем для крученых в связи с особенностями структуры и, самое главное, в связи с тем, что шаг крутки крученой трикотажной пряжи строго ограничен условием равновесности изделия. Необходимо сравнить влияние шага крутки на коэффициент использования прочности и другие характеристики крученой трикотажной пряжи.

Для проведения такого сравнения рассмотрим, прежде всего, напряжения и деформации, возникающие в крученой трикотажной пряже при приложении к нему растягивающей нагрузки. Поскольку при осевых деформациях крученой трикотажной пряжи развертка оси любой пряди на плоскости остается прямолинейной, то можно записать:

$$L_{ko} = \sqrt{H_{ko}^2 + \frac{4}{3}\pi^2 d_{ko}^2} \quad (4.12)$$

где: L_{ko} - длина пряди в одном шаге крутки,

H_{ko} - величина шага крутки,

d_{ko} - диаметр пряди крученой трикотажной пряжи при отсутствии растягивающей нагрузки.

При приложении к трикотажной пряже нагрузки, растягивающей его вдоль оси, каждый шаг крутки удлинится на величину ΔH . Тогда длина пряди L_k^* , входящей в один шаг крутки растянутого изделия будет равна:

$$L_k^* = \sqrt{(H_{ko} + \Delta H)^2 + \frac{4}{3}\pi^2 (d_k^*)^2} \quad (4.13)$$

где: d_k^* - диаметр пряди растянутой крученой трикотажной пряжи.

Допустим, что пряди крученой трикотажной пряжи не деформируют друг друга при растяжении изделия. Тогда:

$$d_k^* = f_{k1}(\varepsilon_k) \quad (4.14)$$

где: ε_k - относительное удлинение пряди крученой трикотажной пряжи.

Подставив значения d_k^* , L_k^* и L_{ko} в выражение (4), получим после несложных

преобразований:

$$(\varepsilon_k + 1)^2 [H_{ko}^2 + \frac{4}{3} \pi^2 d_{ko}^2 - \frac{4}{3} \pi^2 f_{k1}^2 (\varepsilon_k) - (H_{ko} + \Delta H)^2] = 0 \quad (4.15)$$

Если

$$N_k = F_k(\varepsilon_k) \quad (4.16)$$

где: N_k - нагрузка на прядь пряжи, то можно определить, какая нагрузка вызывает заданное удлинение крученой трикотажной пряжи. Действительно, поскольку

$$G_k = 3N_k * \cos \beta_k^* \quad (4.17)$$

где: G_k - растягивающая нагрузка на крученую трикотажную пряжу, β_k^* угол крутки растянутого крученой трикотажной пряжи, и, как видно из рисунка 25, на котором изображена развертка оси пряди крученого пряжа до и после нагрузки, косинус угла крутки растянутого крученой трикотажной пряжи может быть определен по формуле.

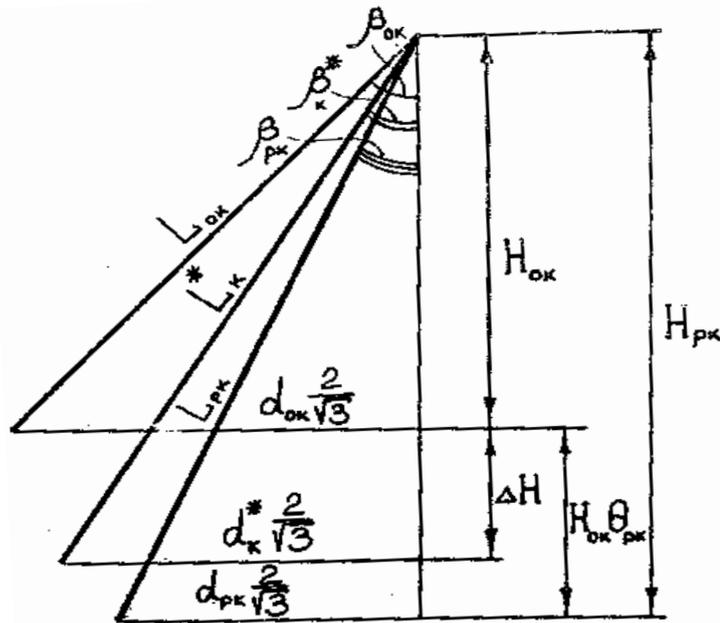


Рисунок 25 – Развертка оси пряди крученой пряжи до и после нагрузки

Следовательно, можно записать:

$$G_k = \frac{(\theta_k + 1) H_{ko}}{\sqrt{(\theta_k + 1)^2 H_{ko}^2 + \frac{4}{3} \pi^2 f_{ki}^2 (\varepsilon_k)}} * 3 F_k(\varepsilon_k) \quad (4.18)$$

где: $\theta_k = \frac{\Delta H}{H_{ko}}$ - относительное удлинение крученой трикотажной пряжи

Таким образом, система уравнений (4.17, 4.18) полностью определяет связь между нагрузкой на изделие и деформациями (напряжениями) как отдельных прядей, так и всего крученого изделия.

Разрушение трикотажной пряжи под действием растягивающей нагрузки, как мы уже говорили, происходит в тот момент, когда относительное удлинение входящих в него прядей становится равным разрывному ($\varepsilon_k = \varepsilon_p$).

Нагрузка на трикотажную пряжу, необходимая для его разрушения (прочность крученой трикотажной пряжи P_k) определяется из выражения (4.22):

$$P_k = 3P_{кп} \cos \beta_{кр} \quad (4.19)$$

где: $\beta_{кр}$ - угол крутки крученой трикотажной пряжи в момент разрушения

$P_{кп} = F_k(\varepsilon_p)$ - прочность пряди крученой трикотажной пряжи.

Косинус угла крутки в момент разрушения крученой трикотажной пряжи может быть определен по формуле (4.13), куда должны войти $H_{кп}$ и $L_{кп}$ - соответственно, величина шага крутки и длина пряди, входящей в один шаг крутки крученой трикотажной пряжи в момент разрушения.

$$L_{кр} = L_{ко}(\varepsilon_p + 1) \quad (4.20)$$

Как видно из рисунка 25:

$$H_{кр} = \sqrt{L_{кр}^2 - \frac{4}{3}\pi^2 d_{кр}^2} \quad (4.21)$$

где: $d_{кр}^2 = f_{ki}^2(\varepsilon_k)$ - диаметр пряди крученой трикотажной пряжи в момент разрушения.

Подставив значения $\cos \beta_{кр}$, $H_{кр}$, $L_{кр}$, $d_{кр}$, а также значение $L_{ко}$ из полученных выше выражений в уравнение (4.19), определим прочность крученой трикотажной пряжи.

$$P_k = \sqrt{1 - \frac{\frac{4}{3}\pi^2 f_{ki}^2(\varepsilon_p)}{(\varepsilon_p+1)^2 [H_{k0}^2 + \frac{4}{3}\pi^2 d_{кр}^2]} } 3F_k(\varepsilon_k) \quad (4.22)$$

Поделив обе части уравнения (31) на величину $P_{k\Sigma} = 3P_{кп}$ получим:

$$\text{КИП}_k = \sqrt{1 - \frac{\frac{4}{3}\pi^2 f_{ki}^2(\varepsilon_p)}{(\varepsilon_p+1)^2 [H_{k0}^2 + \frac{4}{3}\pi^2 d_{кр}^2]} } \cos \beta_{кр} \quad (4.23)$$

Как видно из выражения (4.23), коэффициент использования прочности прядей в крученой трикотажной пряже, растет с увеличением начального шага крутки, при прочих равных условиях.

Из полученных результатов также следует, что уменьшение начального шага крутки приводит к резкому увеличению относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи. Это свойство может оказаться полезным в тех случаях, когда трикотажная пряжа работает в условиях резко меняющейся нагрузки (например, при буксировке и швартовке судов), где он выполняет роль демпфера и, поскольку имеется возможность уменьшения шага крутки у трикотажной пряжи (формулы 4.17 - 4.23).

При определении относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи из прядей, разрывное удлинение которых не превышает 50%, нельзя игнорировать связь между относительным разрывным удлинением прядей и изделия в целом. Очевидно, что диаграмма «нагрузка-удлинение» трикотажная пряжа не может совпадать с диаграммой «нагрузка-удлинение» прядей, из которых свита трикотажная пряжа (за исключением того случая, когда шаг крутки будет бесконечным).

Подводя итог, можно сказать, что особенности структуры трикотажной пряжи дают большие возможности, чем это возможно у трикотажной пряжи. Полученные зависимости позволяют рассчитать оптимальные технологические параметры крутки в целях наилучшего использования свойств прядей.

Рассматривались, продукты с оптимальными свойствами, изделия, полученные из совершенно ровных прядей, с идентичными характеристиками,

свитых при одинаковом натяжении.

Так как на деле зачастую происходит отклонение от оптимальных значений, как в свойствах пряжей, так и в параметрах процесса производства трикотажной пряжи, необходимо оценить влияние этих отклонений на свойства готовых изделий, сравнить степень изменения свойств трикотажной пряжи различных структур, в частности крученой трикотажной пряжи, в связи с разностью пряжей по длине.

4.2 Определение прочности шерстяной трикотажной пряжи в зависимости от составляющих ее свойств

Прочность трикотажной пряжи зависит от относительного разрывного удлинения пряжей, составляющих изделие.

Поскольку, диаметр пряжи трикотажная пряжа в момент разрушения (d_p) тем меньше, чем больше относительное разрывное удлинение пряжи, то, как видно из указанных формул, с увеличением относительного разрывного удлинения пряжей, прочность пряжи возрастет, при других одинаковых условиях возрастет коэффициент использования прочности пряжей в трикотажной пряже.

Относительное разрывное удлинение пряжей в трикотажной пряже зависит не только от свойств каболок и параметров формирования пряжей, но и от того состояния, в каком пряжи был сформированы в пряжу, и в каком состоянии пряжи залегают в трикотажной пряже.

Не вызывает сомнения тот факт, что в результате докрутки, закрепив конечные длины каболок по слоям, прядь может стремиться к усадке. В дальнейшем процессе формирования трикотажной пряжи усадка пряжей может быть в той или иной мере, в зависимости от параметров формирования пряжей (начального шага крутки, относительной докрутки, числа слоев и т.д.), а также в зависимости от параметров крутки и структуры трикотажной пряжи.

Таким образом, относительное разрывное удлинение пряжей, залегающих в трикотажной пряже, а, следовательно, и прочность самого изделия, зависят от

усадки прядей.

Рассмотрим возможные залегания прядей в трикотажной пряже. Исследуем, прежде всего, тот случай, когда отсутствует усадка прядей, залегающих в трикотажной пряже. Рассмотрим два варианта: когда пряди сформированы без докрутки, и когда пряди сформированы с докруткой и залегают в трикотажной пряже в растянутом состоянии, в то время как трикотажная пряжа в целом находится в равновесии (к ней не приложена растягивающая нагрузка).

При формировании прядей без докрутки неизбежно снижение коэффициента использования прочности каболок в изделии, наряду с ухудшением других физико-механических и эксплуатационных свойств.

При отсутствии усадки пряди, ее центральный элемент выпрямлен; но не растянут. То есть $\eta_0 = 0$. Поскольку, прядь в этом состоянии залегают в трикотажной пряже, примем это значение за начальное.

При этом в рамках разработанной в математической модели пряди нагрузка на прядь составляет:

$$N = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(1+b_i)f(\eta_i)}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta i)^2}{l_0^2}}} \quad (4.25)$$

Относительное удлинение по слоям:

$$\eta_i = \sqrt{\frac{l_0^2 + (2\pi\delta i)^2}{l_0^2 + (2\pi\delta i)^2}} - 1 \quad (4.26)$$

Если относительная докрутка пряди, залегающей в трикотажной пряже, равна оптимальной $\gamma = \gamma_m = \sqrt{(\eta_p + 1)^3} - 1$, то относительное разрывное удлинение пряди, при начальном значении ($\eta_0 = 0$), будет равно относительному разрывному удлинению каболок, входящих в нее:

$$\varepsilon_p = \eta_p \text{ при } \begin{cases} \eta_0 = 0 \\ \gamma = \sqrt{(\eta_p + 1)^3} - 1 \end{cases} \quad (4.27)$$

Тогда прочность крученой трикотажной пряжи определится из выражения (4.23):

$$P = 8f(\eta_p) \sqrt{1 - \frac{(\pi+4)^2 * f^2(\eta_p)}{(\eta_p+1)^2 * [H_0^2 + d_0^2 (\pi+4)^2]} * \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(1+b_i)}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta i)^2}{l_0^2}}} \quad (4.28)$$

где: $d_0 = (2\delta m - 1)$ - наружный диаметр пряди.

Если принять, что объем пряди не меняется при ее растяжении.

$$f_1^2(\eta_p) = d_p^2 = \frac{d_0^2}{\eta_p+1} = \frac{(2\delta m-1)^2}{\eta_p+1} \quad (4.29)$$

а $f(\eta_p) = p$, то выражение для прочности трикотажной пряжи запишется в виде:

$$P = 8p \sqrt{1 - \frac{(\pi+4)^2 * (2\delta m-1)^2}{(\eta_p+1)^3 * [H_0^2 + (2\delta m-1)^2 * (\pi+4)^2]} * \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(1+b_i)}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta i)^2}{l_0^2}}} \quad (4.30)$$

Аналогичным образом может быть получена формула, определяющая прочность крученой трикотажной пряжи (4.31):

$$P_k = 3p \sqrt{1 - \frac{\frac{4}{3}\pi^2 (2\delta m-1)^2}{(\eta_p+1)^3 * [H_{k0}^2 + (2\delta m-1)^2 * \frac{4}{3}(\pi)^2]} * \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(1+b_i)}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta i)^2}{l_0^2}}} \quad (4.31)$$

После вычисления прочности и относительного разрывного удлинения пряди, представляется возможным определение прочности трикотажной пряжи, варьируя параметрами формирования прядей и трикотажной пряжи, подбирать оптимальные их сочетания для случаев, когда пряди в трикотажной пряже залегают без усадки.

Такое залегание прядей в трикотажной пряже, вообще говоря, возможно, особенно когда оптимальная относительная докрутка сравнительно мала. При этом натяжение прядей в процессе крутки трикотажная пряжа должно обязательно превышать то, которое необходимо для распрямления центральных каболок в прядях.

Теперь предположим такой крайний случай, когда у прядей, залегающих в трикотажной пряже, произошла полная усадка. При этом все каболокки во всех слоях пряди нерастяннуты.

Не взяв в расчет тот случай, когда относительная докрутка пряди равна нулю, определим в каком состоянии находятся каболки различных слоев пряди.

Если произошла усадка пряди, то ее центральный элемент будет иметь отрицательное удлинение ($\eta_0 < 0$). Взяв производную $\frac{\partial \eta_i}{\partial i}$ (см. выражение 2-2-7) и приравняв ее нулю, получим:

$$i[(\gamma + 1)^2 - (\eta_0 - 1)^3] = 0 \quad (4.32)$$

Очевидно, если $\gamma = \sqrt{(\eta_p + 1)^3} - 1$, а $\eta_0 < 0$, то при $i = 0$ $\eta_i = \eta_0 = \min$. То есть центральный элемент имеет минимальное относительное удлинение.

Действительно, $i < 0$, $\frac{\partial \eta_i}{\partial i} < 0$, а при $i > 0$, $\frac{\partial \eta_i}{\partial i} > 0$.

Тогда, поскольку с увеличением i , η_i возрастает (при положительных значениях i , производная больше нуля), то максимальное относительное удлинение будет у элементов наружного слоя ($i = m - 1$). Однако, учитывая, что в пряди нет растянутых каболок (полная усадка), получим:

$$\eta_{m-1} = 0 \quad (4.33)$$

Иначе говоря, каболки всех слоев, кроме наружного, сжаты. Примем это состояние пряди за начальное и определим ее относительное разрывное удлинение. Из выражения (4.7), при ($i = m - 1$) получим, с учетом (4.9):

$$(\eta_0^- + 1)^3 l_0^2 - (\eta_0^- + 1)[l_0^2 + (2\pi\delta)^2(m - 1)^2] + (2\pi\delta\nu)^2(m - 1)^2 = 0 \quad (4.34)$$

где: η_0^- — относительное удлинение центрального элемента пряди при полной ее усадке ($\eta_0^- < 0$).

Определив из выражения (4.10) величину $\bar{\eta}_0$, можно найти \bar{l}_0 длину одного шага первой крутки пряди после докрутки и полной усадки $\bar{l}_0 : l_0^- = l_0(\eta_0^- + 1)$.

В то же время, зная относительное разрывное удлинение каболок, можно вычислить длину одного шага первой крутки пряди в момент ее разрушения l_{op} :

$$l_{op} = l_0(\eta_p + 1) \quad (4.35)$$

Тогда, очевидно, относительное разрывное удлинение пряди равно:

$$\varepsilon_p = \frac{l_{op}}{l_0} - 1 = \frac{\eta_p + 1}{\eta_0^- + 1} - 1 \quad (4.36)$$

Подставив полученное значение относительного разрывного удлинения, получим прочность трикотажной пряжи, сформированной из нерастянутых прядей:

$$P = 8f(\eta_p) \sqrt{1 - \frac{(\pi+4)^2(\eta_0^-+1)^2 * f^2(\varepsilon_p)}{(\eta_p+1)^2 [H_0^2 + d_0^2(\pi+4)^2]} * \sum_{i=0}^{m-1} \frac{1+b_i}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta i)^2}{l_0^2}}}} \quad (4.37)$$

В данном случае d_0 - это диаметр пряди, залегающей в трикотажной пряже, то есть диаметр пряди, получившей полную усадку. Приняв, что при усадке объем пряди сохраняется постоянным, получим:

$$d_0^2 = \frac{(2\delta m - 1)^2}{\eta_0^- + 1} \quad (4.38)$$

Аналогичным образом прядь в момент разрушения будет иметь диаметр:

$$d_p^2 = \frac{d_0^2}{\varepsilon_p + 1} = \frac{(2\delta m - 1)^2}{\eta_p + 1} \quad (4.39)$$

Тогда выражение, определяющее прочность трикотажной пряжи, может быть записано в следующем виде:

$$P = 8p \sqrt{1 - \frac{(\pi+4)^2(\eta_0^-+1)^2(2m\delta-1)^2}{(\eta_p+1)^3 * [H_0^2 + \frac{(2m\delta-1)^2(\pi+4)^2}{\eta_0^-+1}]} * \sum_{i=0}^{m-1} \frac{1+b_i}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta i)^2}{l_0^2}}}} \quad (4.40)$$

Что касается крученой трикотажной пряжи, то вывод формулы для определения прочности проводится подобным образом:

$$P = 3p \sqrt{1 - \frac{\frac{3}{4}\pi^2(\eta_0^-+1)^2(2m\delta-1)^2}{(\eta_p+1)^3 * [H_{k0}^2 + \frac{(2m\delta-1)^2\frac{3}{4}\pi^2}{\eta_0^-+1}]} * \sum_{i=0}^{m-1} \frac{1+b_i}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta i)^2}{l_0^2}}}} \quad (4.41)$$

Полученные выражения (4.39, 4.40) позволяют, исходя из физико-механических свойств каболок, путем подбора параметров формирования, проектировать прочность готовой трикотажной пряжи для тех случаев, когда пряди, залегающие в трикотажной пряже, имеют полную усадку.

Подобное залегание прядей в трикотажной пряже вполне возможно, однако, в связи с отсутствием напряжения наружных слоев каболок необходимая

плотность прядей должна обеспечиваться либо свойствами материала, из которого изготовлены каболки, либо специальными обработками (например, пропиткой латексами).

Как видно из выражений (4.39, 4.40), прочность трикотажной пряжи возрастает с увеличением ($|\eta_0^-|$), то есть с увеличением относительной усадки пряди, при прочих равных условиях, что вполне соответствует сделанным ранее выводам, так как при этом возрастает относительное разрывное удлинение прядей, залегающих в трикотажной пряже.

Между тем, как следует из выражения (4.34), с увеличением в разумных пределах относительной докрутки ее усадка возрастает. Действительно, взяв производную $\frac{\partial(\overline{\eta_0})}{\partial v}$, получим (см. производная от неявной функции);

$$\frac{\partial(\overline{\eta_0})}{\partial v} = \frac{-2v[2\pi\delta(m-1)]^2}{3l_0^2[(\overline{\eta_0}+1)^2-1]-[2\pi\delta(m-1)]^2} < 0 \quad (4.42)$$

так как $2l_0^2 \gg [2\pi\delta(m-1)]^2$. Но поскольку $\eta_0^- < 0$, то с увеличением v , $|\eta_0^-|$ – возрастает. (Однако при значительной усадке знак производной может измениться и влияние докрутка станет обратным).

Оптимальная относительная докрутка прядей, обеспечивающая одновременный разрыв элементов всех слоев при растяжении тем больше, чем больше относительное разрывное удлинение, каболок.

Следовательно, чем больше относительное разрывное удлинение каболок, тем больше усадка прядей, свитых из этих каболок с оптимальной относительной докруткой. Чем больше относительное разрывное удлинение прядей, залегающих в трикотажной пряже при полной усадке, тем больше, при прочих равных условиях, прочность изделия.

С помощью рентгенографических исследований удалось доказать возможность такого положения, когда у прядей, залегающих в трикотажной пряже, произошла неполная усадка и они находятся в состоянии напряженного равновесия [103, 111].

Удлинение наружных слоев прядей было также доказано путем замера

расстояния между отметками, сделанными на них до крутки пряжей и трикотажной пряжи.

Поскольку функция $f(\eta_i)$ обращается в нуль при $\eta_i = 0$, то принимая во внимание выражение (4.1) для пряжей, свитых с оптимальной относительной докруткой, можно записать условие равновесия (4.42) в более развернутом виде:

$$\sum_{i=0}^{m-1} \frac{(1+bi)f\left(\frac{|\eta_i|+\eta_i}{2}\right)}{\sqrt{1+\frac{(2\pi\delta i)^2(\eta_p+1)^3}{l_0^2(\eta_0^-+1)^3}}} + N_{\eta_0^-}^- \quad (4.43)$$

При этом распределение удлинений по слоям пряжи будет иметь вид:

$$\eta_i = \sqrt{\frac{l_0^2(\eta_0^-+1)^2 + \frac{(2\pi\delta i)^2(\gamma+1)^2}{\eta_0^-+1}}{l_0^2 + (2\pi\delta i)^2}} - 1 \quad \text{где } \gamma = \gamma_m \quad (4.44)$$

Подставив значение η_i из (4.43) в (4.42), необходимо определить η_0^- . Тогда, зная относительную усадку пряжи, залегающей в трикотажной пряже, можно было бы воспользоваться выражениями (4.39, 4.40) для проектирования прочности готового изделия, исходя из свойств составляющих его пряжей.

Таким образом, получены три комплексные математические модели трикотажной пряжи, охватывающие почти все возможные варианты залегания пряжей в ней, за исключением, только того случая, когда равновесие сил в изделии достигается не только за счет возникновения сил сопротивления осевому смятию пряжи, но и от сил сопротивления взаимному радиальному сжатию пряжей в связи с усадкой трикотажной пряжи. Однако, как показала практика, радиальное смятие пряжей в связи с усадкой трикотажной пряжи, в подавляющем большинстве изделий возникать не может в связи с весьма высокой «подвижностью» структуры (большими возможностями взаимного перемещения пряжей).

В таблицах 23 и 24 сведены результаты расчетов прочностных показателей и крученой трикотажной пряжи, проведенных с помощью разработанных выше комплексных математических моделей этих изделий.

Что касается трикотажной пряжи, то параметры формирования выбирались

на основании результатов исследований, проведенных в настоящей работе. Для каждого размера трикотажной пряжи рассчитывали по три варианта с различными сочетаниями параметров крутки пряжи.

Считалось, что вся трикотажная пряжа состоит из прядей, с оптимальной относительной докрутки, равной:

$$\gamma = \sqrt{(\eta_p + 1)^3} - 1 = \sqrt{1,953} - 1 = 0,397 \quad (4.45)$$

при $\eta_p = 0,25$

Между тем параметры формирования трикотажной пряжи не ограничены рамками требования равновесности изделия и поэтому, варьируя параметрами крутки, можно добиться максимального приближения к проектной прочности, меняя начальный шаг крутки прядей в пряже (по сохранении оптимальности относительной докрутки прядей), можно, например, получить изделия с различной плотностью, имеющие одинаковую прочность и так далее.

Кроме того, как видно из полученных результатов, относительное изменение расчетного коэффициента использования прочности пряжи в трикотажной пряже с увеличением размеров изделия сравнительно невелико и составляет в среднем 5,4% (расчетное относительное изменение 11,1%, заложенное в гост - 17,5%).

Объясняется это, прежде всего, сравнительно малым числом слоев пряжи в прядях. Так как при оптимальной относительной докрутки коэффициент использования прочности пряжи в прядях зависит только от разности длин прядей по слоям (при прочих равных условиях), то с увеличением числа слоев в пряжи влияние разности длин элементов на КИП в ней увеличивается.

Расчетные характеристики были получены с помощью формул (6,7), учитывающих залегание прядей в трикотажной пряже без усадки, поскольку (как было доказано выше) с увеличением относительной усадки прядей, залетающих в трикотажной пряже, прочность изделия возрастает.

4.3. Удлинение шерстяной трикотажной пряжи в зависимости от свойств составляющих ее свойств

Относительное разрывное удлинение трикотажной пряжи зависит от относительного разрывного удлинения прядей, составляющих изделие.

В свою очередь, относительное разрывное удлинение прядей в трикотажной пряже, зависит не только от свойств пряжи и параметров формирования прядей, но и от того, в каком состоянии пряди залегают в трикотажной пряже, какова их относительная усадка.

Следовательно, от того, в какой мере реализовалась усадка прядей, зависящая как от параметров формирования прядей (начального шага крутки, относительной докрутки, числа слоев), так и от свойств самого волокнистого материала (плотность, гибкость, начальный модуль упругости и т.д.) зависит, в конечном счете, и относительное разрывное удлинение изделия в целом.

Исследуем подробнее характер зависимости относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи от параметров формирования и свойств материала при различных вариантах залегания прядей в трикотажной пряже.

Аналогично предыдущему случаю рассмотрим случай, когда отсутствует усадка у прядей, залегающих в трикотажной пряже. Пряди находятся в растянутом состоянии, в то время как трикотажная пряжа в целом находится в равновесии. Центральные элементы прядей распрямлены, но не растянуты ($\eta_0 = 0$).

Если относительная докрутка прядей, залегающих в трикотажной пряже, равна оптимальной ($\gamma = \gamma_m = \sqrt{(\eta_p + 1)^3 - 1}$), то относительное разрывное удлинение прядей будет равно относительному разрывному удлинению пряди, входящих в нее:

$$\varepsilon_p = \eta_p \quad | \text{ при } \eta_0 = 0; \gamma = \gamma_m \quad (4.46)$$

Тогда из выражения (1-3-36) получим, что относительное разрывное

удлинение трикотажной пряжи равно:

$$\Theta_p = (\eta_p + 1) \sqrt{1 + \frac{(\pi+4)^2}{H_0} \left(d_0^2 - \frac{d_p^2}{(\eta_p+1)^2} \right)} - 1 \quad (4.47)$$

Если принять, что объем пряжи не меняется при ее растяжения, а $d_0 = 2\delta m - 1$, то выражение для относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи запишется в виде:

$$\Theta_p = (\eta_p + 1) \sqrt{1 + \frac{(\pi+4)^2}{H_0} (2\delta m - 1)^2 \left(1 - \frac{1}{(\eta_p+1)^3} \right)} - 1 \quad (4.48)$$

логичным образом может быть получена формула, определяющая относительное разрывное удлинение крученной трикотажной пряжи:

$$\Theta_{pk} = (\eta_p + 1) \sqrt{1 + \frac{4\pi^2}{3H^2_{ок}} (2\delta m - 1)^2 \left(1 - \frac{1}{(\eta_p+1)^3} \right)} - 1 \quad (4.49)$$

Таким образом, если пряжи залегают в трикотажной пряже без относительной усадки, то относительное разрывное удлинение изделия определяется относительным разрывным удлинением пряжи и зависит лишь от начального шага крутки изделия.

Если у прядей, залегающих в пряже, произошла полная усадка, то при ($\gamma = \gamma_m$) ($\eta_0 < 0$) центральный элемент имеет минимальное удлинение. С увеличением номера слоя, относительное удлинение элементов возрастает и при $i = m - 1$ (наружный слой) $\eta_{m-1} = 0$. То есть, пряжи всех слоев, кроме наружного, сжаты (имеют отрицательное удлинение); пряжи наружного слоя не растянуты и не сжаты.

Если принять такое состояние прядей за начальное, то относительное удлинение центрального элемента определится из выражения (при $i = m - 1, \eta_{m-1} = 0$):

$$(\eta_0^- + 1)^3 l_0^2 - (\eta_0^- + 1)[l_0^2 + (2\pi\delta)^2(m-1)^2] + (2\pi\delta\nu)^2(m-1)^2 = 0 \quad (4.50)$$

Тогда относительное разрывное удлинение пряжи после полной усадки будет равно:

$$\varepsilon_p = \frac{\eta_{p+1}}{\eta_0^- + 1} - 1 \quad (4.51)$$

Подставив значения относительного разрывного удлинения пряжи в выражение (4.47), получим относительное разрывное удлинение трикотажной пряжи, сформированного из нерастянутых прядей:

$$\Theta_p = \frac{\eta_{p+1}}{\eta_0^- + 1} \sqrt{1 + \frac{(\pi+4)^2}{H_0^2} (d_0^2 - d_p^2 \frac{(\eta_0^- + 1)^2}{(\eta_{p+1})^2})} - 1 \quad (4.52)$$

где: d_0 - диаметр пряжи, залегающей в трикотажной пряже, то есть получившей полную усадку.

Приняв, что при усадке и растяжении пряжи ее объем остается постоянным, получим выражение для относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи записанным в виде:

$$\Theta_p = \frac{\eta_{p+1}}{\eta_0^- + 1} \sqrt{1 + \frac{(\pi+4)^2}{H_0^2} (2\delta m - 1)^2 \left[\frac{(\eta_{p+1})^3 - (\eta_0^- + 1)^3}{(\eta_{p+1})^3 (\eta_0^- + 1)} \right]} - 1 \quad (4.53)$$

Для крученой трикотажной пряжи формула, определяющая ее относительное разрывное удлинение, в случае залегания прядей с полной усадкой, выгладит следующим образом:

$$\Theta_{pk} = \frac{\eta_{p+1}}{\eta_0^- + 1} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2}{3H_{0k}^2} (2\delta m - 1)^2 \left[\frac{(\eta_{p+1})^3 - (\eta_0^- + 1)^3}{(\eta_{p+1})^3 (\eta_0^- + 1)} \right]} - 1 \quad (4.54)$$

С увеличением в определенных пределах относительной докрутки пряжи, ее усадка возрастает. А поскольку величина оптимальной относительной докрутки возрастает с увеличением относительного разрывного удлинение прядей, то очевидно, чем больше относительное разрывное удлинение пряжи, тем больше относительное разрывное удлинение прядей, получивших полную усадку, тем больше, при прочих равных условиях, относительное разрывное удлинение трикотажной пряжи, сформированного из этих прядей.

Однако, если $3[(\eta_0^- + 1)^2 - 1]l_0^2 < [2\pi\delta(m - 1)]^2$ (либо в связи с тем, что $2l_0^2 < [2\pi\delta(m - 1)]^2$, либо в связи со значительной усадкой), то производная $\frac{\partial \eta_0^-}{\partial v}$

> 0 . Иначе говоря, увеличение относительной докрутки пряжи уже не может увеличить ее усадку. Это объясняется, прежде всего, увеличением диаметра пряжи в процессе усадки, при сохранении постоянства ее объема.

Отсюда следует, что если величина оптимальной относительной докрутки превышает то значение, при котором производная $\frac{\partial \eta_0^-}{\partial v}$ меняет знак с минуса на плюс, то пряжи, свитые с оптимальной относительной докруткой, будут иметь неполную усадку и наружные слои будут несколько растянуты.

Условия равновесия пряжи, залегающей в изделии без натяжения при неполной усадке, было записано в (4.42). Значение относительной усадки пряжи, определенное из этих условий, можно подставить в выражения 8; 9 и определить относительное разрывное удлинение трикотажной пряжи, исходя из составляющих ее свойств.

Получены результаты расчетов удлинений крученой трикотажной пряжи при разрыве. Эти расчеты проведены с помощью формул (4.40), (4.41), при выводе которых считалось, что пряжи залегают в трикотажной пряже без усадки. С увеличением относительной усадки прядей, залегающих в пряже, относительное разрывное удлинение трикотажной пряжи возрастает, то приведенные расчетные разрывные удлинения являются нижним пределом для изделия.

Величины разрывных удлинений, очевидно, являются верхним пределом, который в ряде случаев вообще недостижим, так как полная усадка не всегда возможна $\eta_{m-1} \neq 0$ при любых значения η_0^- . Как видно из таблицы, при залегании прядей в трикотажной пряже без усадки, расчетная величина относительного разрывного удлинения изделия почти не зависит от его размера, а определяется, главным образом, относительным разрывным удлинением пряжи. Для исследованной трикотажной пряжи расчетное удлинение при разрыве колеблется в пределах 0,36-0,43, в зависимости от начального шага крутки изделия. В то же время расчетное разрывное удлинение трикотажной пряжи, определенное с учетом полной усадки прядей, явно возрастает с увеличением

размера изделия. Для тех изделий, пряжи в которых не могут иметь полную усадку, рассчитано относительное разрывное удлинение с учетом минимального растяжения наружных слоев в прядях ($\eta_{m-1} = \min$).

Полученные результаты говорят о серьезном преимуществе конструкции изделия, которая позволяет формировать пряжу с широким диапазоном удлинений из прядей, наружные слои в которых имеют минимальные удлинения (при отсутствии нагрузки, растягивающей пряжу).

Действительно, ведь почти все размеры трикотажной пряжи могут быть сформированы из прядей, получивших полную усадку, а значит и имеющих минимальные напряжения наружных слоев ($\eta_{m-1} = 0$).

Как видно из таблицы 26 разрыв между верхним и нижним пределами относительного разрывного удлинения весьма велик, особенно для трикотажной пряжи крупных размеров. Это говорит об очень сильном влиянии усадки прядей, залегающих в трикотажной пряже на относительное разрывное удлинение. На рисунке 26 изображен график изменения относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи с изменением относительной усадки прядей.

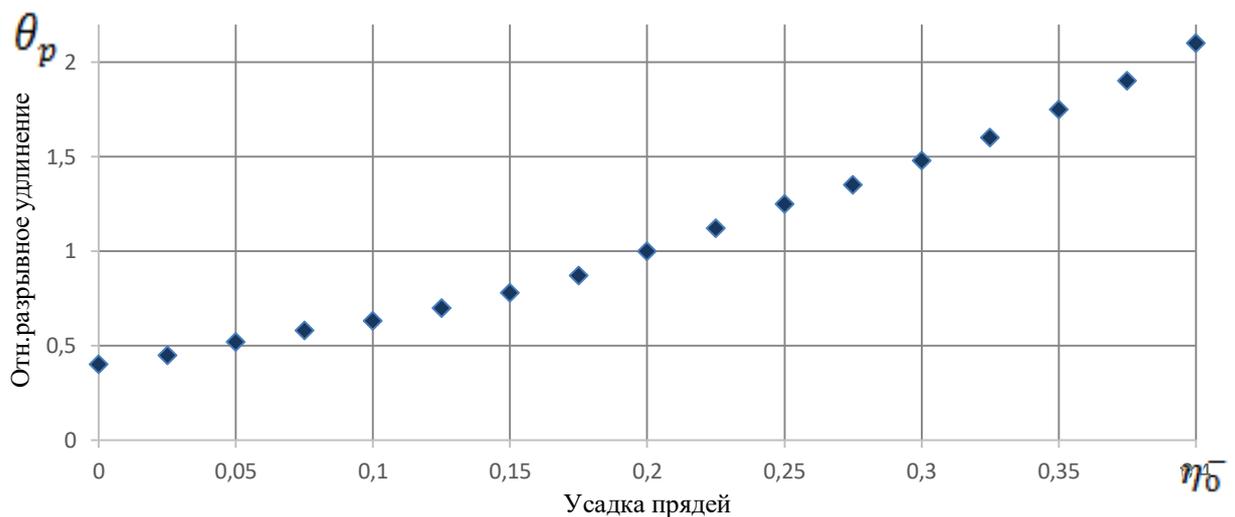


Рисунок 26 – Изменение относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи с изменением относительной усадки прядей

Подводя итоги, необходимо подчеркнуть, что приведенные расчетные показатели прочности и относительного удлинения при разрыве трикотажной

пряжи, получены на основании комплексных математических моделей изделий, учитывающих либо полную усадку залегающих в них прядей, либо отсутствие усадки. Эти модели позволяют, как было показано выше, ориентироваться в пределах изменений исследуемых показателей, проводить сравнения различных конструкций изделий из разных материалов с различными параметрами формирования и т.д.

Между тем, в ряде случаев прочность трикотажной пряжи с неполной усадкой, определяется с помощью равновесия внутренних сил. Однако при неполной усадке получение решения в замкнутой форме на базе математических моделей, учитывающих равновесие внутренних сил в прядях, не представляется возможным [110].

В связи с этим, для решения задач, связанных с проектированием прочности и удлинения, было решено воспользоваться численными методами и разработать автоматизированную систему проектирования физико-механических характеристик трикотажной пряжи, используя комплексные математические модели изделий.

4.4 Компьютерное и математическое моделирование физико-механических характеристик шерстяной трикотажной пряжи, в зависимости от свойств составляющих ее прядей

В ходе исследования, в статье [2] был рассмотрен и разработан алгоритм, позволяющий осуществлять расчет прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи. В [2] также была реализована поставленная задача, в части определения методики вычислений прочностных характеристик изделий, основываясь на свойствах структуры элементов. Осуществлено сравнение полученных результатов на предприятии с полным циклом прядения, с результатами, полученными на предприятиях этой отрасли. На основании полученных результатов, была спроектирована и построена кривая «нагрузка-удлинение» шерстяной трикотажной пряжи. Был проведен анализ диаграммы

поведения пряжи в зависимости от составляющих ее свойств.

Построением математической модели крученых и трикотажных изделий занимались многие исследователи, однако нигде в литературе не встречалось достаточно полное математическое описание структуры и равновесия элементов крученых изделий и влияние на них составляющих свойств. Разработанный алгоритм решения задачи определения прочностных свойств для последующего проектирования изделия были изложены в ходе исследования в [2].

На рисунке 27 изображен алгоритм, представленный в виде блок-схемы работы разработанной автоматизированной системы расчета прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи, исходя из ее свойств.

В ходе исследование, в статье [2] был составлен комплекс формул для расчета физико-механических характеристик крученой пряжи.

Ниже приведены полученные формулы, использованные в вычислениях прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи.

Относительное распределение удлинений по слоям пряжи имеет следующий вид:

$$\eta_i = \sqrt{\frac{l_0^2(\eta_0^-+1)^2 + \frac{(2\pi\delta_i)^2(\gamma+1)^2}{\eta_0^-+1}}{l_0^2 + (2\pi\delta_i)^2}} - 1 \text{ где } \gamma = \gamma_m \quad (4.55)$$

Расчет нагрузки на каждую прядь:

$$q_i = f \frac{|\eta_i| + \eta_i}{2} \quad (4.56)$$

нагрузка на каждый слой, направленная вдоль оси пряди:

$$\bar{q}_i(1 + b_i) \quad (4.57)$$

направленная вдоль оси пряди:

$$N^+ = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(1+b_i) f \frac{|\eta_i| + \eta_i}{2}}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi\delta_i)^2(\gamma+1)^2}{l_0^2(\eta_0^-+1)^3}}} \quad (4.58)$$

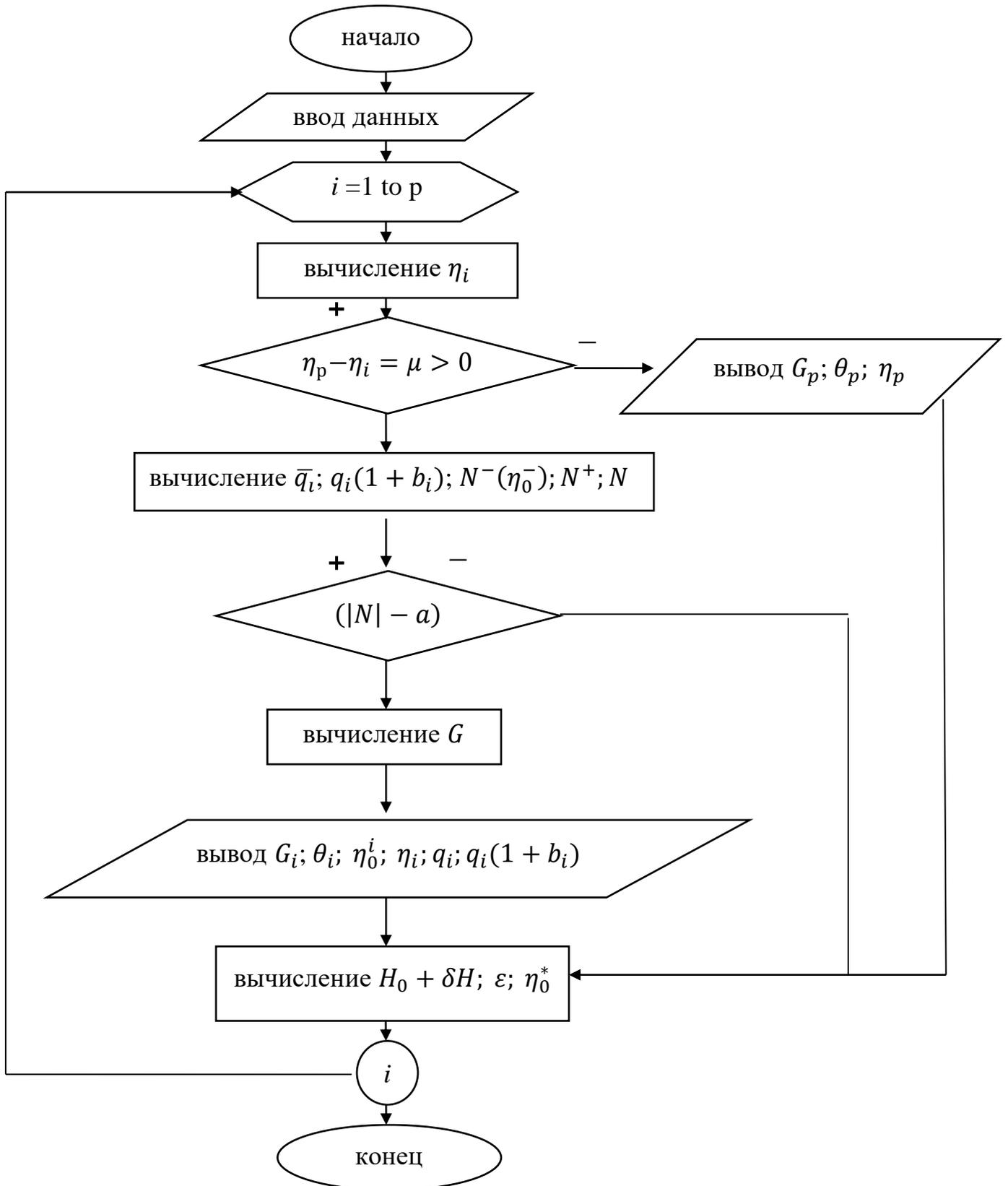


Рисунок 27 – Алгоритм работы автоматизированной системы расчета прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряжи, исходя из ее свойств

сопротивление усадке N^- , возникающее в результате продольного и поперечного смятия каболок, а также давления наружных слоев каболок:

$$(N^- = N^-(\eta_0^-)) \quad (4.59)$$

N – равновесие нагрузки, направленное вдоль оси пряди:

$$(N = N^- + N^+) \quad (4.60)$$

N^+ – суммарная нагрузка на растянутые после докрутки пряди,

Увеличение шага крутки используется в вычислении по формулам, определение длины пряди в одном шаге:

$$L_o = \sqrt{H_o^2 + d_o^2(\pi + 4)^2}, \quad (4.63)$$

Определение длины пряди в растянутом изделии:

$$L^* = \sqrt{(H_o + \Delta H)^2 + (d^*)^2(\pi + 4)^2}, \quad (4.64)$$

Относительное удлинение пряди в растянутом канате:

$$\varepsilon = \left(\frac{L^* + L_o}{L_o} \right) \quad (4.65)$$

Относительное удлинение центральной пряди:

$$\eta_0^* = (\eta_0^- + 1)(\varepsilon + 1) - 1 \quad (4.66)$$

зная ε и η_0^- рассчитывается η_0^* .

Затем, по формуле $\eta_i = \sqrt{\frac{l_o^2(\eta_0^- + 1)^2 + \frac{(2\pi\delta i)^2(\gamma + 1)^2}{\eta_0^- + 1}}{l_o^2 + (2\pi\delta i)^2}} - 1$, в которую вместо η_0^-

подставляется η_0^* вычисляется η_i , сравнивается с η_p .

Разработанная автоматизированная система позволяет получить результаты прочностных характеристик шерстяной трикотажной пряди. Так же, определять прочность изделия, основываясь на параметрах крутки и конечной структуре изделия.

В ходе исследования определено, что разработанная автоматизированная система, по результатам расчета позволяет построить диаграмму «нагрузка-удлинение». Произвести анализ, и проследить характер изменения на разных стадиях нагрузки.

Полученные результаты, позволяют определить недостатки в производстве, и усовершенствовать технологию путем повышения качества продукта на выходе.

В приложении (4) дана реально составленная программа вычислений, связанных с проектированием физико-механических характеристик трикотажной пряжи, которая может быть использована для расчетов, связанных с проектированием прочности.

С помощью спроектированной автоматизированной системы в среде Visual Basic App. (VBA) были произведены вычисления физико-механических характеристик и исследование свойств трикотажной пряжи.

Для определения функции $f(\eta)$ мы воспользовались приближением по методу наименьших квадратов в отдельных точках, выбранных в результате совмещения пяти реальных диаграмм «нагрузка-удлинение». Параметры, характеризующие эти точки, сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Параметры точек разрыва по методу наименьших квадратов

| | | | | | | | | |
|-----------|---|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| η | 0 | 0,033 | 0,1 | 0,166 | 0,233 | 0,3 | 0,333 | 0,366 |
| q (кгс) | 0 | 30 | 64 | 127 | 204 | 238 | 248 | 252 |

а сами точки отмечены на рисунке 28.

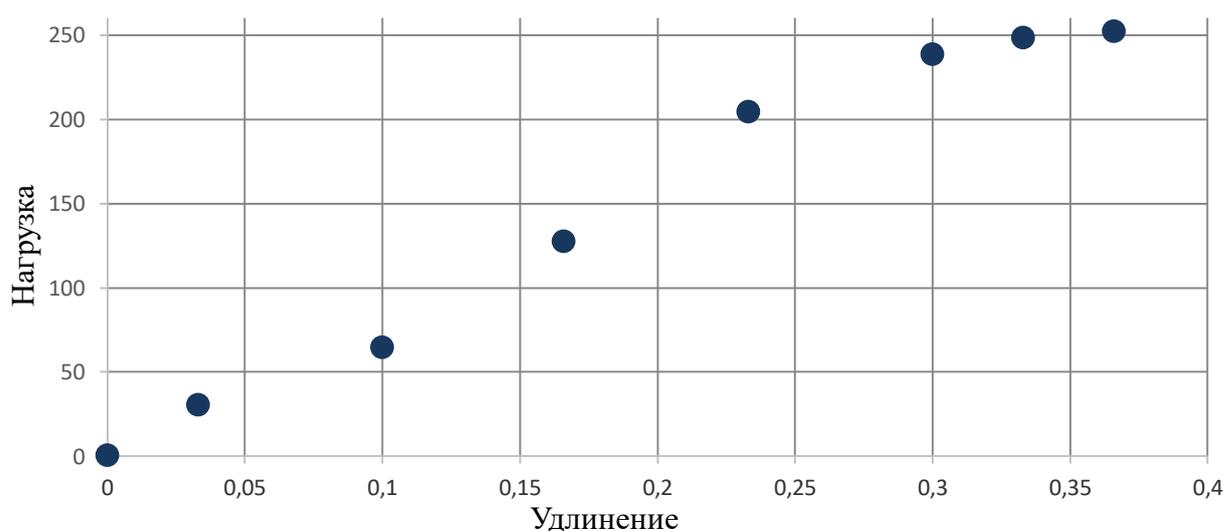


Рисунок 28 – Приближение по методу наименьших квадратов в отдельных точках

Исходные параметры для вычислений характеристик шерстяной трикотажной пряжи сведены в таблицу 22. Для выяснения характера функции $q = f(\eta)$, были испытаны пряжи (5 ктекс) из шерстяного волокна (935 текс) с записью диаграмм «нагрузка-удлинение».

Для расчетов необходимо иметь исходные данные, перечисленные в таблице 22, подобрать зону и интервал поиска $\Delta\eta_0$, интервалы удлинения трикотажной пряжи ΔH , обеспечивающие требуемую точность вычислений.

Таблица 22 – Исходные данные для расчета физико-механических характеристик трикотажной пряжи, исходя из составляющих ее свойств

| №№ ПП | Исходные данные | Структура |
|----------|---|---|
| 1 | Диаметр пряжи (мм) | 15 |
| 2 | Начальный шаг крутки пряжи N_0 (мм) | 13 |
| 3 | Начальный шаг крутки пряжи C , (мм) | 8 |
| 4 | Толщина пряжи ктекс (мм) | 2.0 (1,3) |
| 5 | Относительное разрывное удлинение пряжи η_p | 0,37;0,345;0,215 |
| 6 | Величина оптимальной относительной докрутки γ_m | 0,603; 0,560; 0,389 |
| 7 | $q = f(\eta)$ (задается уравнением) | $q = A\eta^3 + B\eta^3 + C\eta$ |
| 8 | $N^-(\eta_0^-)$ (задается уравнением) | $N^- = - \sum_{i=0}^{m-1} A \frac{ \eta_i - \eta_i}{2} + B \left(\frac{ \eta_i - \eta_i}{2} \right)^2 + \alpha \left(\frac{ \eta_i - \eta_i}{2} \right)^3$ |
| 9 | Шаг по удлинению трикотажной пряжи ΔH грубый/точный (мм) | 3 + 1 |
| 10 | Шаг поиска $\Delta \eta_0^-$ усадки | 0,005 |
| 11 | Минимальная усадка $ \eta_0^- _{min}$ | 0 |
| 12 | Максимальная усадка $ \eta_0^- _{max}$ | 1.0 |

Продолжение таблицы 22

| | | |
|----|---|-----|
| 13 | Число шагов поиска усадки n_η | 200 |
| 14 | Максимальное отклонение $ N $ от нуля – “а” (кгс) | 10 |

В результате параболической интерполяции, когда в качестве интерполирующей функции был взят многочлен третьей степени $\varphi(n) = A\eta^3 + B\eta^2 + C\eta + D$, функция $q = \varphi(n)$ получила следующий вид:

$$q = 420\eta + 3600\eta^2 - 7830\eta^3 [\text{кгс}] \quad | \quad \text{при } \eta \geq 0 \quad (4.67)$$

Для расчетов было принято, что усилия сопротивления усадке в каждом слое возрастает с увеличением усадки по закону, описываемому многочленом третьей степени.

Выражение для суммарного усилия сопротивления усадке пряжи может быть записано в следующем виде:

$$N^- = -\sum_{i=0}^{m-1} (|\eta_0^-| - \eta_0^-) [\alpha (|\eta_0^-| - \eta_0^-)^2 + 900 (|\eta_0^-| + \eta_0^-) + 210] \quad (4.68)$$

Где коэффициент α - меняется в различных вариантах расчетов от 103 кгс до $3,6 \cdot 10^5$ кгс. На рисунках 29 и 30 показана зависимость, влияния на коэффициент использования прочности и относительное разрывное удлинение соответственно.

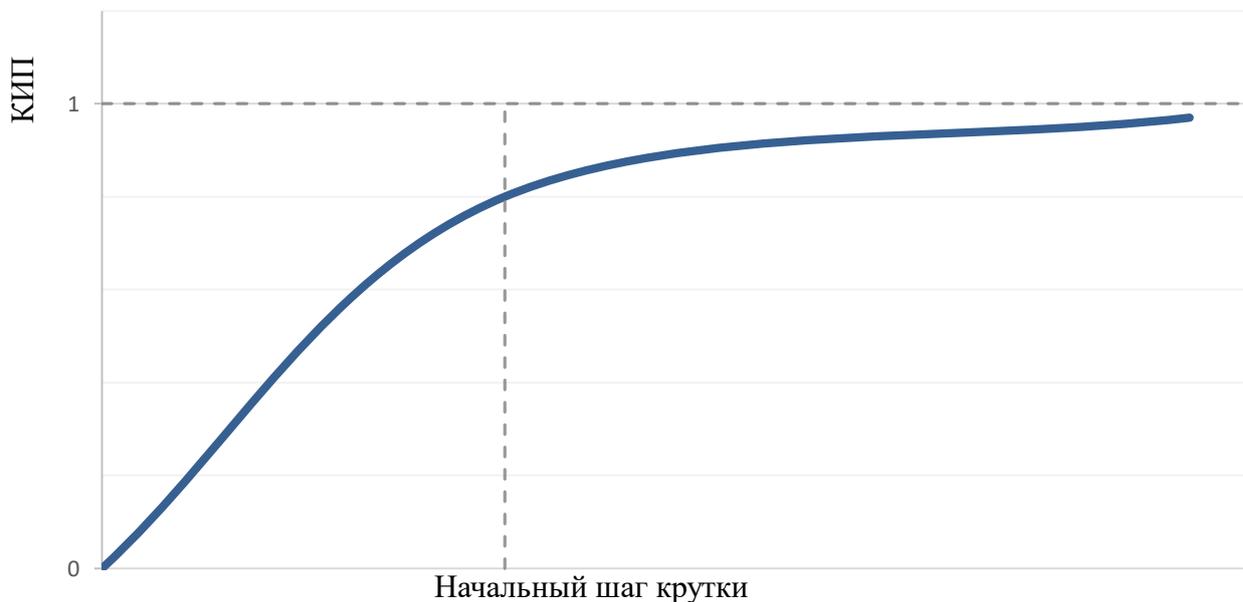


Рисунок 29 – Влияние коэффициента α на коэффициент использования прочности

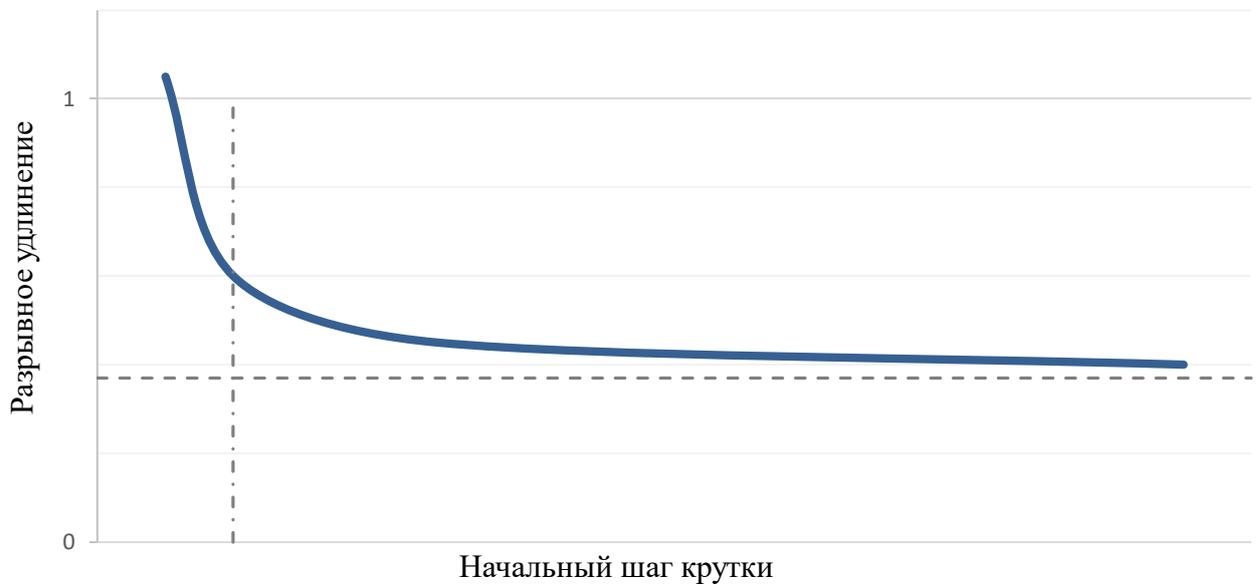


Рисунок 30 – Влияние коэффициент α и относительное разрывное удлинение

Из графиков можно сделать вывод, что чем больше начальный шаг крутки изделия, тем меньше его изменение влияет на относительное разрывное удлинение изделия. Кроме того, при бесконечном увеличении H_0 - шага крутки изображены кривые, характеризующие изменения коэффициента использования прочности пряжи и изменение его относительного разрывного удлинения с изменением начального шага крутки. Как видно из графиков, для того, чтобы увеличить коэффициент использования прочности пряжи, уменьшить его относительное разрывное удлинение, достаточно незначительно увеличить начальный шаг крутки изделия.

Из полученных результатов также следует, что уменьшение начального шага крутки приводит к резкому увеличению относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи. Это свойство может оказаться полезным в тех случаях, когда изделие работает в условиях резко меняющейся нагрузки. Поскольку, возможности уменьшения шага крутки пряжи больше, они обладают несомненным преимуществом по сравнению с трикотажной пряжей.

В целях исследования трансформации свойств сырья в готовом изделии рассмотрим подробнее влияние величины относительного разрывного удлинения

прядей на величину относительного разрывного удлинения трикотажной пряжи и на коэффициент использования прочности прядей в нем.

На рисунке 31 изображена кривая изменения коэффициента использования прочности в зависимости от величины относительного разрывного удлинения.

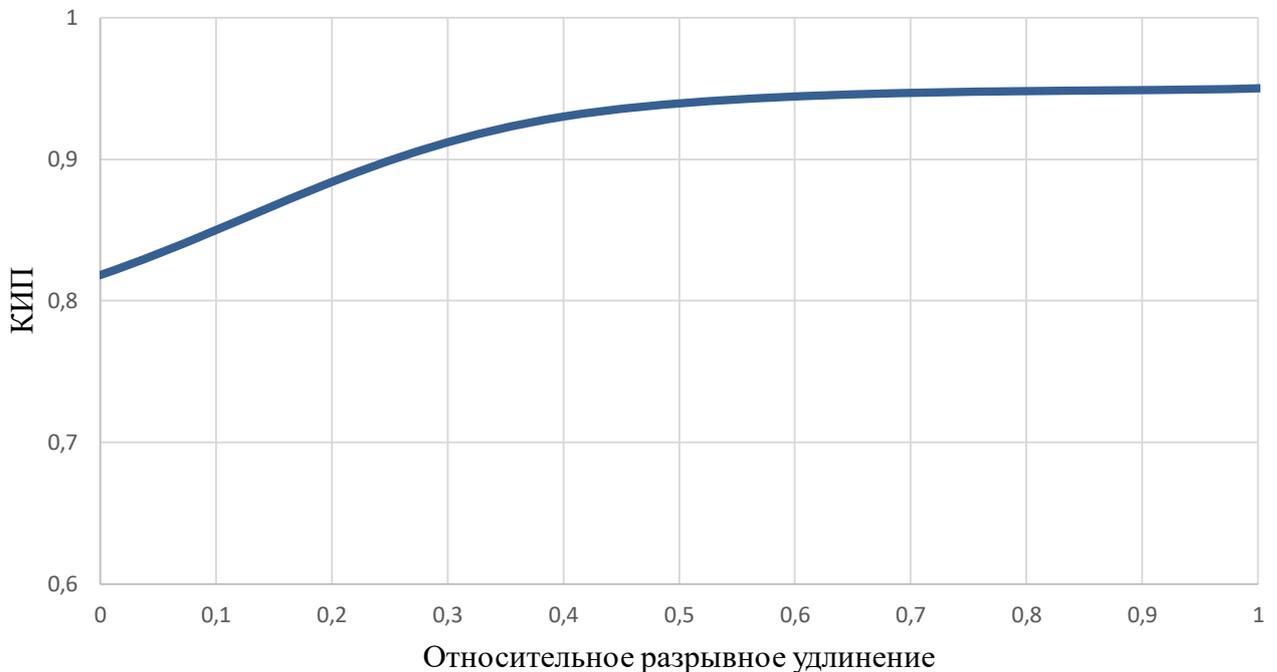


Рисунок 31 – Кривая изменения коэффициента использования прочности в зависимости от величины относительного разрывного удлинения

Сопоставив полученные результаты с результатами исследования влияния H_0 на K , приходим к выводу о том, что наибольшего эффекта в увеличении коэффициента использования прочности в изделии путем изменения начального шага крутки можно достичь у трикотажной пряжи, которая изготовлена из прядей, имеющих минимальное разрывное удлинение. В то же время уменьшение начального шага крутки, которое, приводит к снижению коэффициента использования прочности прядей (20), гораздо меньше сказывается на прочности тех изделий, которые изготовлены из прядей с высоким разрывным удлинением.

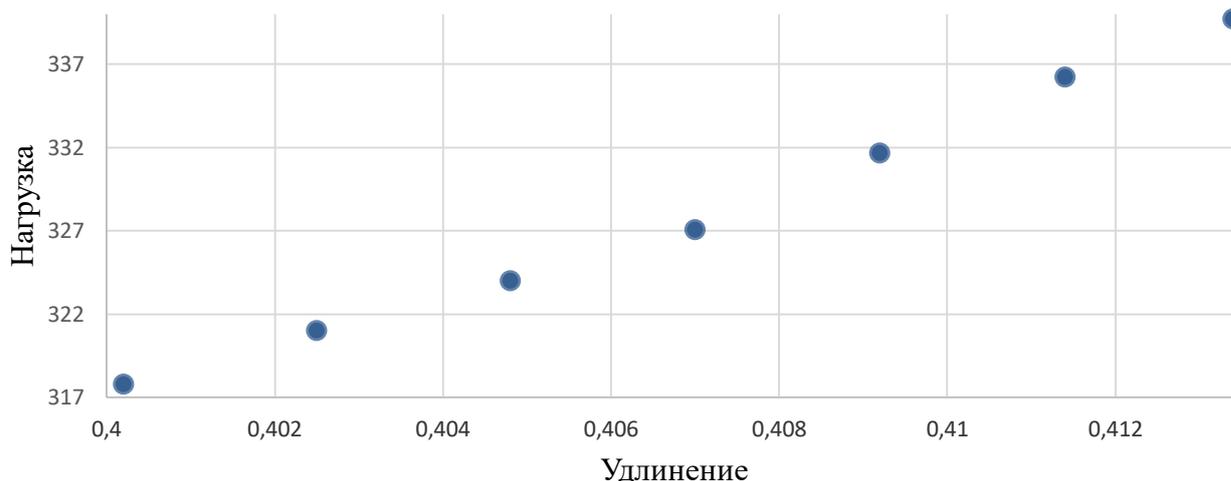


Рисунок 32 – Диаграмма «нагрузка-удлинение» трикотажной пряжи

Параметры, характеризующие трикотажную пряжу, приведены в таблице 23.

Результаты полностью подтверждают теорию, что при увеличении шага крутки трикотажной пряжи коэффициент использования прочности будет возрастать, а относительное разрывное удлинение уменьшаться, соответственно.

Таблица 23 – Прочностные характеристики трикотажной пряжи в зависимости от увеличения шага крутки пряжи и пряди

| Начальный шаг крутки трикотажной пряжи | Начальный шаг крутки пряди | Нагрузка на пряди | Относительное разрывное удлинение пряди | Коэффициент использования прочности трикотажной пряжи |
|--|----------------------------|-------------------|---|---|
| 81 | 40 | 316,37 | 0,404 | 0,87 |
| 81 | 41 | 320,85 | 0,407 | 0,87 |
| 81 | 42 | 323,69 | 0,409 | 0,87 |
| 81 | 43 | 326,74 | 0,412 | 0,86 |
| 81 | 44 | 332,72 | 0,414 | 0,86 |
| 81 | 45 | 335,63 | 0,417 | 0,86 |

Таблица 24 – Прочностные характеристики трикотажной пряжи от увеличения шага крутки пряжи

| Начальный шаг крутки трикотажной пряжи | Начальный шаг крутки пряжи | Коэффициент использование прочности трикотажной пряжи | Относительное разрывное удлинение пряжи |
|--|----------------------------|---|---|
| 81 | 40 | 0,869 | 1,172 |
| 82 | 40 | 0,870 | 1,156 |
| 83 | 40 | 0,872 | 1,140 |
| 84 | 40 | 0873 | 1,125 |

В работе решена задача по разработке автоматизированной системы проектирования разрывных характеристик трикотажной пряжи. Создаваемая система позволит производить расчеты, и получать результаты разрывных характеристик крученой трикотажной пряжи.

Выбор программных и инструментальных средств разработки информационной системы является важным этапом проектирования системы. Для создания автоматизированных систем необходимо использовать современные и надежные средства разработки, отвечающие требованиям, предъявляемым к системе. Перечень требований:

- требования к надежности системы;
- пользовательские требования;
- функциональные требования;

Выбор инструментальных средств разработки зависит от характера деятельности по разработке.

Подойдет любой подходящий язык, например, обычный Visual Basic, VBScript, JScript, C++, Delphi, Java и т. п. Можно использовать и .NET-совместимые языки программирования — , C# и т. п. Все возможности объектных моделей приложений Office вполне можно будет использовать.

Из всех отвечающих требованиям систем программирования, была выбрана среда Visual Basic App. VBA (Visual Basic for Applications) — это диалект языка Visual Basic, расширяющий возможности Visual Basic и предназначенный для работы с приложениями Microsoft Office и другими приложениями от Microsoft и третьих фирм.

К достоинствам языка можно отнести сравнительную лёгкость освоения, благодаря которой приложения могут создавать даже пользователи, не программирующие профессионально. К особенностям VBA можно отнести выполнение скрипта именно в среде офисных приложений Microsoft Office (в частности Microsoft Excel), а также макрорекордер – средство кодирования действий пользователя для последующего их повторения. Кроме того, эти инструменты можно с успехом использовать для самостоятельного обучения программированию, «записывая» многие свои действия с помощью макрорекордера, а затем просматривая и корректируя результирующий код. Макрос VBA - это макрос, написанный на языке Visual Basic for Applications. Применительно к тематике программных приложений под словом макрос всегда имеется в виду макрокоманда.

При помощи макросов можно создавать пользовательские меню, диалоговые окна, а также панели инструментов, которые могут существенно изменить интерфейс всем известных приложений Word и Excel. Интерфейс имеет большое значение для любой программной системы и является неотъемлемой ее составляющей, ориентированной, прежде всего, на конечного пользователя. Необходимо выбрать средство разработки интерфейса, которое позволит создать наиболее удобное и функциональное приложение. После запуска приложения с расширение .xlsx среды Excel, открывается окно. В появившемся окне

| Расчет прочности шерстяной трикотажной пряжи | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Входные данные | | Результаты | |
| Диаметр пряжи(мм) | <input type="text" value="15"/> | Относительное удлинение пряжи | <input type="text" value="0,3084"/> |
| Начальный шаг крутки (мм) | <input type="text" value="3"/> | Нагрузка на прядь (текс) | <input type="text" value="9,093"/> |
| Шаг по удлинению | <input type="text" value="1"/> | Прочность пряжи (текс) | <input type="text" value="3,891"/> |
| Начальный шаг крутки пряжи(мм) | <input type="text" value="6"/> | Отн. разрывное удлинение пряжи | <input type="text" value="8,2701"/> |
| Толщина пряжи(мм) | <input type="text" value="2"/> | Коэффициент использования прочности | <input type="text" value="0,5682"/> |
| | | | <input type="button" value="Расчет"/> |

Рисунок 33 – Форма расчета прочностных характеристик трикотажной пряжи

4.5 Прочность нити в процессе приготовления шерстяной трикотажной пряжи

4.5.1 Крутка пряжи. Структура крученой пряжи. Определение показателей прочности пряжи

Одиночная шерстяная пряжа имеет несколько весомых недостатков которые непосредственно влияют на дальнейший процесс ее переработки и качество крученой пряжи.

К числу таких недостатков относятся пороки пряжи, пороки намотки, и недостаточная длина нити на прядильном початке.

Для достижения крученой нити требуемого стандарта качества, одиночная шерстяная пряжа должна пройти подготовку.

На предприятии «Квест-А» используется двухпроцесный способ подготовки пряжи к кручению.

Двухпроцесный способ подготовки одиночной шерстяной пряжи к кручению, состоит в том, что однониточная пряжа с початков или бобин перематывается на мотальной машине в конусную бобину.

Двухпроцесный способ применяют, когда к пряже предъявляют требования высокого качества. При таком способе кручения увеличивается число

переходов, которые непосредственно влияют на качество пряжи, осуществляется удаление пороков из одиночной шерстяной пряжи.

При производстве шерстяной нити встречаются случаи, при которых возникает необходимость перематывания пряжи. Основными причинами этого являются:

- для достижения оптимальных условий сматывания нитей с паковок на последующих переходах при высокой скорости перематывания;
- изменение формы паковок, когда требуется перемотка с цилиндрических паковок на конические с целью применения в трикотажном производстве;
- дополнительное электронное измерение длины, исключающее образование остатков пряжи;
- очистка пряжи.

В процессе прядения одиночная шерстяная пряжа принимает неоднородную структуру. Неоднородность заключается в ее физико-механических свойствах. В процессе кручения нескольких одиночных нитей есть возможность получить крученую пряжу необходимой структуры и определенными свойствами [85].

В процессе скручивания одиночной пряжи в несколько сложений есть возможность улучшить прочностные характеристики шерстяной пряжи, такие как: разрывная нагрузка, равномерность, удлинение, эластичность, равновесность [25].

Исходя из этого, в процессе кручения физико-механические характеристики заданного изделия достигаются установленным параметрам. Суть процесса кручения заключается в том, что указанное количество нитей скручиваются между собой. Одиночные шерстяные нити обвивают друг друга, располагаясь по винтовым линиям, что приводит к возникновению радиальных усилий между ними [96].

Для получения равномерной крученой пряжи требуемых свойств, физико-механических характеристик и однородного вида требуется, чтобы параметры

составляющих нитей имели одинаковые параметры. Если составляющие свойства будут различаться, в частности натяжение, то это может повлечь за собой образованию штопорности.

Расположение составляющих в крученой пряже представлено на рисунке 34.

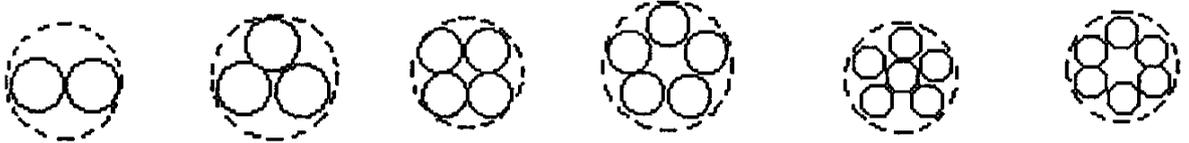


Рисунок 34 – Расположение составляющих в крученой пряже

Одним из факторов, влияющих на структуру пряжи, является усадка. Усадка, выражена в %. Расчет усадки шерстяной пряжи в процессе прядения в зависимости от ее линейной плотности и крутки, производится основываясь на [64]:

$$\eta = 2,2a^3\sqrt{T} \quad (4.69)$$

где a – коэффициент крутки пряжи; T – линейная плотность пряжи, текс.

Коэффициент крутки пряжи:

$$a_T = \frac{K\sqrt{T}}{100} = a_M/3,16 \quad (4.70)$$

где S – число кручений на 1 м

Для одиночной пряжи

$$S = 100a_T/\sqrt{T}; \quad (4.71)$$

Для крученой пряжи

$$S = 100a_T/\sqrt{nT}; \quad (4.72)$$

где n – количество нитей, используемых при крутке

Критическое значение

$$S = \frac{135}{\sqrt{1000T}} = 4266/\sqrt{T}; \quad (4.73)$$

Под критической круткой подразумевается крутка, при которой волокна наружных слоев пряжи оказываются напряженными до предела сопротивления.

Критический коэффициент крутки для шерсти $a_{кр}=0,42$.

Коэффициент крутки пряжи из полутонкой шерсти, сообщающий пряже

наибольшую прочность

$$a_T = (300 + 2T)/\sqrt{T} \quad (4.74)$$

а число кручений на 1 м

$$S = 200 + 30000/T \quad (4.75)$$

Значения a_T и S в зависимости от линейной плотности пряжи

$$a_T = \frac{300+2 \cdot 828}{\sqrt{828}} = 67 \text{ и } S = 200 + \frac{30000}{828} = 236.$$

Однако, на практике, во избежание возможного перекручивания пряжи, расчетная величина S снижается примерно на 15 %.

Приведенное уравнение для расчета L показывает, что в границах опытных значений a_T (от 12,5 до 41) существует линейная зависимость между коэффициентом крутки и разрывной длиной пряжи. Так как $dL/da_T=0,16$, то с увеличением a_T на единицу следует ожидать приращения: разрывной длины L на 0,16км.

Величина крутки пряжи зависит от длины волокна. Если S — число кручений на 1 м, l — длина волокна, мм, то

$$S = a * 31.6/\sqrt{T}l \quad (4.76)$$

где a — постоянный коэффициент для данного вида сырья и пряжи.

Условный диаметр пряжи в зависимости от ее линейной плотности и плотности волокна, мм,

$$d = 1,13\sqrt{1000/T\gamma} = 0,036\sqrt{T\delta} \quad (4.77)$$

где δ — средняя плотность волокна, г/см³ (мг/мм³).

Значения γ для шерстяных волокон 1,33.

Для вычисления диаметра тонкогребенной пряжи можно использовать формулу: $d = 0,04\sqrt{T}$.

Диаметр крученой нити в зависимости от ее линейной плотности T и средней плотности δ (65); мм.

$$d = 0,0357\sqrt{T/\gamma} \quad (4.78)$$

Если 29 текс, а $\delta = 0,5$ мг/мм³, то $d = 0,0357\sqrt{58/0,5} = 0,38$ мм

Диаметр, мкм, чистошерстяной тонкогребенной – пряжи одиночной d_1 крученой d_2 в зависимости от ее линейной плотности T и крутки S :

$$d_1 = 146 + 6,09T_1 - 0,08S_1$$

$$d_2 = 161 + 3,12T_2 - 0,06S_2$$

При кондиционной влажности линейная плотность пряжи, текс:

$$T = T_1 M / M_1, \quad (4.79)$$

где T_1 – исходная линейная плотность образца (при избытке, или недостатке влажности), текс; M – масса того же образца пряжи после высушивания до кондиционной влажности, г; M_1 – масса исходного образца пряжи, г.

$$T = 29 * 80 / 72 = 26,3$$

Норма кондиционной влажности пряжи в %: тонкогребенной чистошерстяной – 18,25; аппаратной чистошерстяной для трикотажного производства – 15; гребенной чистошерстяной из неоднородной шерсти – 16.

Величину прочности (L) определяется экспериментальным способом и расчетным способом, который вместе с полученными показателями разрывной нагрузки используются для вычисления разрывной длины по формуле:

$$L = 0,16a_T + 0,19 \quad (4.80)$$

При условии, когда показатель разрывной длины составляет менее 6,5 км шерсть принимается за дефектную.

Взаимосвязь коэффициента крутки и разрывной длины шерстяной пряжи представлена в таблице 25.

Из расчетных и экспериментальных данных можно сделать вывод, что с ростом коэффициента крутки возрастает разрывная длина чистошерстяной пряжи.

Свойства крученой пряжи в значительной степени отличаются от свойств одиночной пряжи.

Исходя из [16] можно сделать вывод, что разрывная нагрузка крученой пряжи больше суммарной разрывной нагрузки скручиваемых нитей, так как в

процессе кручения увеличивается давление волокон и нитей друг на друга, возрастает общее трение и сопротивление разрыву.

Таблица 25 – Сравнение результатов разрывной длины шерстяной трикотажной пряжи

| Коэффициент крутки a_T | Разрывная длина L , км | |
|--------------------------|----------------------------|---|
| | Найденная экспериментально | Вычисленная по формуле $L = 0,16a_m + 0,19$ |
| 12,5 | 2,28 | 2,19 |
| 31 | 5,35 | 5,17 |
| 36,1 | 5,98 | 5,97 |
| 38 | 5,91 | 6,27 |
| 41,1 | 6,51 | 6,76 |

На рисунке 35 представлена взаимосвязь коэффициента крутки пряжи, к абсолютной прочности.

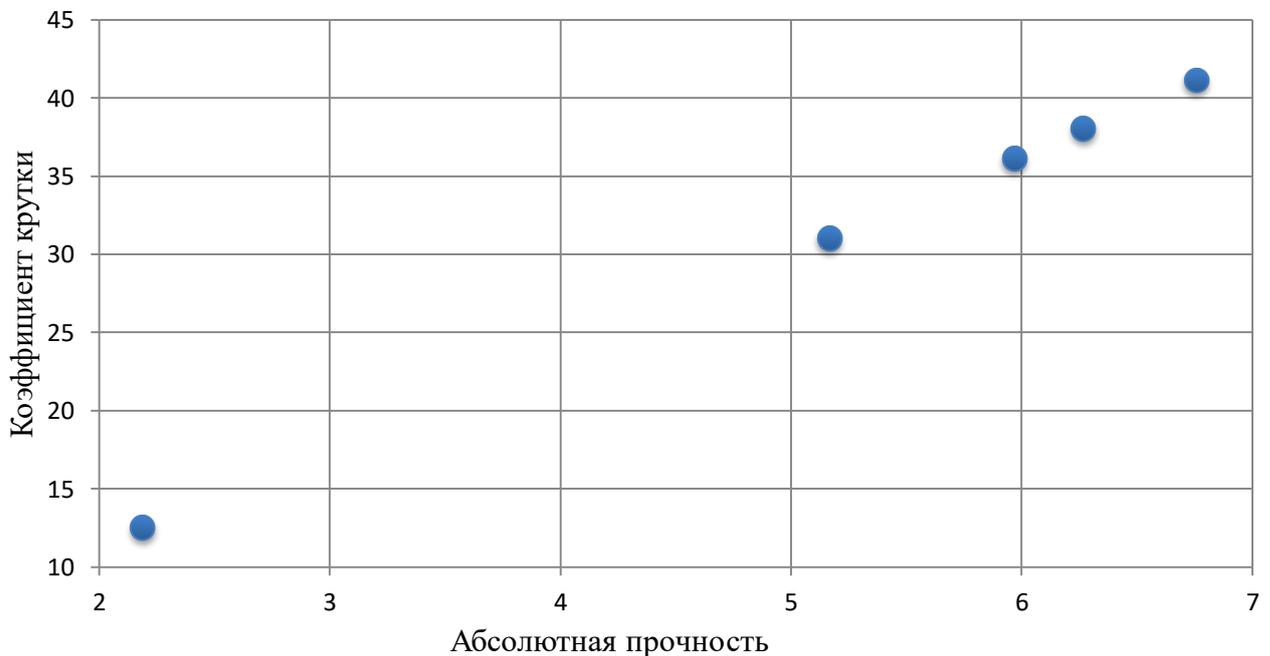


Рисунок 35 – Отношение коэффициента крутки пряжи к абсолютной прочности

Разрывную нагрузку крученой пряжи можно подсчитать по формуле:

$$P_{кр} = P_0 m K_{уп}; P_{удк} = P_{удо} K_{уп} \quad (4.81)$$

где P_0 - разрывная нагрузка одиночной нити, сН; m - число сложений; $K_{уп}$ – коэффициент упрочнения пряжи; $P_{удк}$, $P_{удо}$ – удельная разрывная нагрузка соответственно крученой и одиночной пряжи, сН/текс,

$$K_{уп} = P_{кр}/(P_0 m); K_{уп} = P_{удк}/P_{удо} \quad (4.82)$$

Коэффициент упрочнения $K_{уп}$ зависит от величины и направления крутки, от линейной плотности пряжи, от способа кручения, от числа скручиваемых нитей, находится в пределах от 1,14 до 2,0. [16].

На основании ГОСТ 6611.2-73 можно принять табличные значения разрывной нагрузки одиночной шерстяной нити и произвести расчет разрывной нагрузки одиночной шерстяной пряжи при производстве на предприятии «Квест-А».

Существенное влияние на разрывную нагрузку крученой пряжи оказывает величина и направление крутки скручиваемых нитей.

Одинаковое направление круток прядения и кручения. В случае, если направление круток совпадает, крутка составляющих в процессе скручивания возрастает, и получаемая крученая пряжа приобретает большую жесткость. Вследствие повышенного натяжения волокон получаемая в этом случае пряжа неравновесна. Если направление круток обратное, крутка составляющих в процессе их скручивания уменьшается, и составляющие плотнее прилегают друг к другу, а полученная крученая пряжа будет более мягкой и прочной [100].

Разрывная прочность шерстяных волокон зависит от их толщины: чем толще волокно, тем оно прочнее. На протяжении длины одних и тех же волокон также наблюдаются различия в прочности шерстяных волокон. Хотя верхняя зона штапеля имеет наибольший диаметр волокон, она уступает по прочности средней зоне, поскольку эта зона подвержена неблагоприятным для нее воздействиям факторов внешней среды (ветер, солнце, дождь и пр.), разрушающих жиропот, а с ним и шерстяное волокно. В нижней зоне штапеля потеря прочности волокон шерсти связана чаще с сужением и лактацией маток [108]

Различают абсолютную и удельную прочность волокон. Абсолютная прочность выражается в ньютонах (Н). Удельная прочность определяется величиной разрывного усилия, приходящегося на единицу площади поперечного сечения шерстяного волокна, и выражается в паскалях (Па). Определение разрывной длины пучка шерстяных волокон в процессе прядения:

$$L_{\text{пуч}} = (P_{\text{ср.пуч}} \times l_{\text{пуч}} n_{\text{пуч}}) / G_{\text{пуч}}, \quad (4.83)$$

где $P_{\text{ср.пуч}}$ – средняя величина разрывной нагрузки одного пучка шерстяных волокон, кг;

$l_{\text{пуч}}$ – длина пучка шерстяных волокон, мм;

$n_{\text{пуч}}$ – число испытанных пучков;

$G_{\text{пуч}}$ – общая масса пучков (после разрыва), мг.

Таблица 26 – Прочность и удлинение пряжи

| Состав пряжи | Прочность пряжи, сН | | Удлинение пряжи, % | |
|----------------|---------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | одиначной | крученной | одиначной | крученной |
| Чистощерстяная | 100 | 125—144 | 100 | 144—166 |

В зависимости от эксцентриситета веретена (нарушения сносности веретена и кольца) относительная обрывность меняется в соответствии с экспериментальными данными, приведенными в таблице 27.

Таблица 27 – Относительная обрывность нитей

| Эксцентриситет, мм | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Относительная обрывность, обрывов на 1000 веретен в час | 100 | 167 | 250 | 430 | 660 |

Наблюдение за обрывностью целесообразно вести по съемам. Число съемов n в гребенном прядении не менее 5, в аппаратном не менее 6.

Для достоверности наблюдений обрывности произведение, n , равное числу веретен, умноженному на длительность наработки одного съема в часах, должно

быть < 3200 . Если среднее число обрывов на одном веретене a , то веретено, дающее $a + 3\sqrt{a}$, обрывов, нуждается в ремонте [52].

Пусть, например, обрывность в прядении составляет 200 случаев на 1000 веретен за 1 ч. Следовательно, среднее число обрывов на 1 веретено за 8 ч работы составляет $200 \cdot 8 / 1000 = 1,6$. Веретено, давшее за 8 ч $1,6 + 3\sqrt{1,6} = 5,4$ обрыва, необходимо проверить и исправить [56].

В своей диссертации и прочих публикациях [59-62] проф. Разумеев К.Э. рассматривает основные недостатки ранее проведенных работ по получению многофакторных взаимосвязей ряда свойств шерстяной пряжи. Исходя из результатов анализа принято, что основными параметрами технологического прочеса является использование показателей мытой шерсти на предприятии с непрерывным циклом от ПОШ до получения готового изделия.

В ходе исследования были изучены работы отечественных и зарубежных авторов, проводивших исследования в этой же области. По результатам анализа работ, были выявлены прочностные показатели пряжи, которые непосредственно влияют на ее качество. Для определения прочности пряжи, а вследствие и ее качества, необходимо разработать и произвести расчеты в системе компьютерного моделирования, для определения абсолютной и относительной разрывной нагрузки [58].

При определении прочностных свойств шерстяной пряжи хорошо в работах [39, 49, 54, 61, 86-90] применялся метод многофакторного корреляционного анализа. Видится возможным применить данный метод в системе компьютерного моделирования.

В опубликованных ранее работах [39, 49, 54, 61] была изучена связь между прочностью волокон шерсти и дальнейшее ее отражение в качестве гребенной ленты.

Методика обработки данных проведенных экспериментов и исследований производилась с рекомендациями, изложенными у проф. А.Г. Севостьянова [70-73].

4.5.2 Относительная и абсолютная разрывная нагрузка шерстяной трикотажной пряжи на предприятии с непрерывной технологией

В своих работах [59-62] проф. Разумеев К.Э. получил расчетную модель относительной разрывной нагрузки шерстяной пряжи P_0 , которая имеет следующий вид:

$$P_0 = 8,912 + 0,031L_B - 0,038C_{LB} - 0,267d_B - 0,181C_{dB} + 0,267p_B - 0,053C_{EB} - 0,055T + 0,077K \quad (4.84)$$

L_B – средняя длина волокон мытой шерсти, мм;

C_{LB} – неровнота по длине волокон мытой шерсти, %;

d_B – средняя тонины (диаметр) волокон мытой шерсти, мкм;

C_{dB} – неровнота по тонины волокон мытой шерсти, %;

p_B – абсолютная разрывная нагрузка (прочность) волокон мытой шерсти, сН;

C_{EB} – неровнота по разрывному удлинению волокон мытой шерсти, %;

T – линейная плотность одиночной камвольной пряжи, текс;

S – крутка пряжи.

Так же, в этих работах проф. Разумеевым К.Э. был разработаны и получены методики расчета разрывной нагрузки и длины волокон мытой шерсти.

В соответствии с рекомендациями Teasdale D.C. [135] можно сделать вывод, что длина волокон мытой шерсти равна длине волокон невымытой шерсти. Такая же взаимосвязь наблюдается и для тонины шерсти.

Окончательный вариант модели проектирования разрывной нагрузки шерстяной пряжи приобрел следующий вид:

$$P_0 = 1,85 + 0,13LN + 0,04p_B - 0,12d_B + 0,06VM + 0,02M - 0,055T + 0,077K - 0,13A$$

По результатам анализа полученной модели, можно выделить несколько свойств сырья, которые влияют на показатель прочности: тонины невымытой шерсти d_B , линейная плотность пряжи T (влияние отрицательное); прогнозируемая длина волокон в гребенной ленте LN , разрывная нагрузка волокон шерсти p_B , крутка

пряжи K (влияние положительное).

Так как, модуль свободного члена уменьшился, можно сделать вывод, что степень учета различных факторов на прочность и качество пряжи больше, чем в остальных работах [49, 112-116].

На основании разработанных методиках моделирования прочности, изложенных в [62] произведено компьютерное моделирование прогнозируемых и фактических показателей разрывной нагрузки шерстяной пряжи. Для сравнения эффективности технологии переработки отечественной тонкой шерсти по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа», произведен подобный расчет для предприятия «Квест-А» и для других предприятий шерстеперерабатывающей отрасли. Полученные результаты представлены на рисунках 36 и 37. Полученная графическая зависимость имеет линейный характер. Для анализа данных использовались методы проектирования относительной разрывной нагрузки шерстяной пряжи, описанные в [62]. Из них видно, что коэффициент совпадения близок к 1. При сравнении результатов двух различных предприятий видно, что фактические значения залегают ближе к прогнозируемым на предприятии работающему по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа». Помимо модели проектирования относительной разрывной нагрузки, проф. Разумеев К.Э. приводит в своей работе [62] модель абсолютной разрывной нагрузки (абсолютной прочности) шерстяной пряжи P , которая имеет следующий вид:

$$P = -5,59 + 1,27L_B - 6,12C_{dB} + 7,73p_B + 3,17T + 2,33K, (4.85)$$

где L_B – средняя длина волокон мытой шерсти, мм;

C_{dB} – неровнота по тонине волокон мытой шерсти, %;

p_B – абсолютная разрывная нагрузка волокон мытой шерсти, сН;

T – линейная плотность одиночной камвольной пряжи, текс;

S – крутка пряжи.

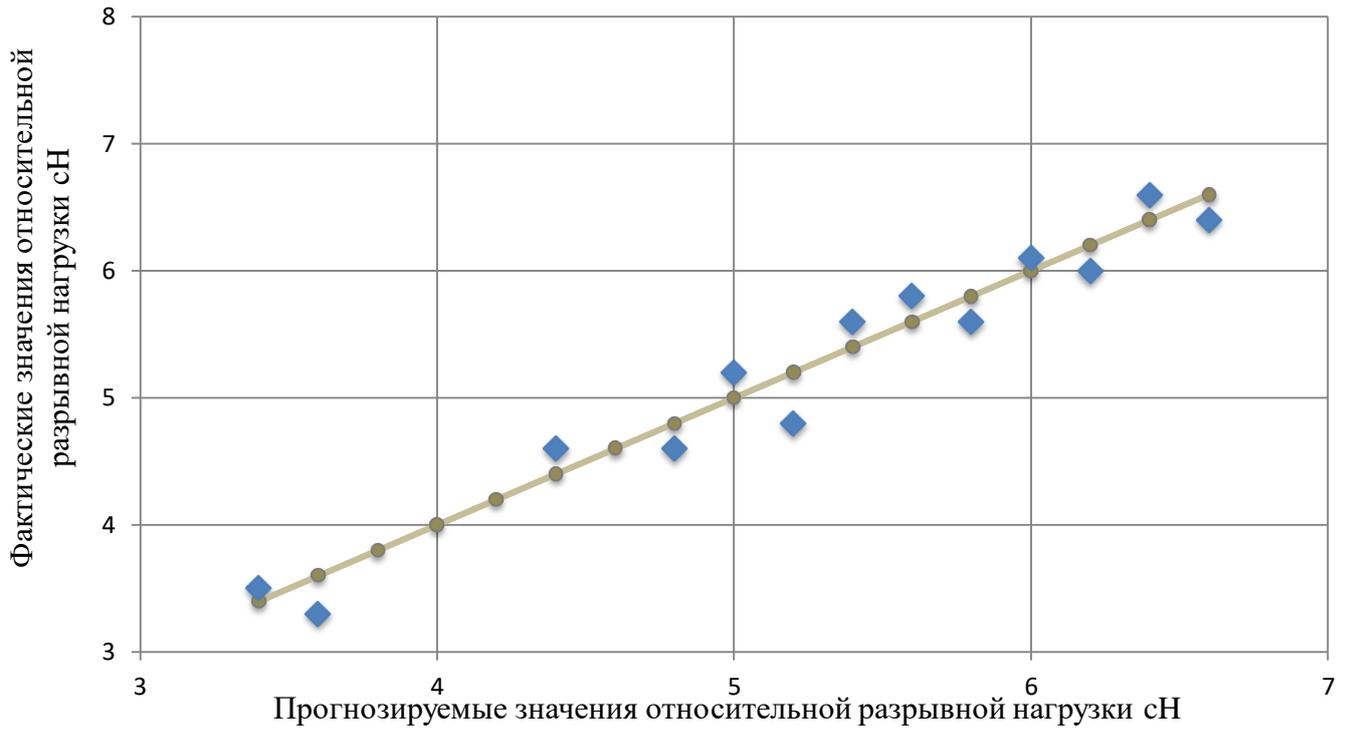


Рисунок 36 – Сравнение прогнозируемых значений относительной прочности пряжи с фактическими на предприятиях отрасли.

Предприятие «Квест-А».

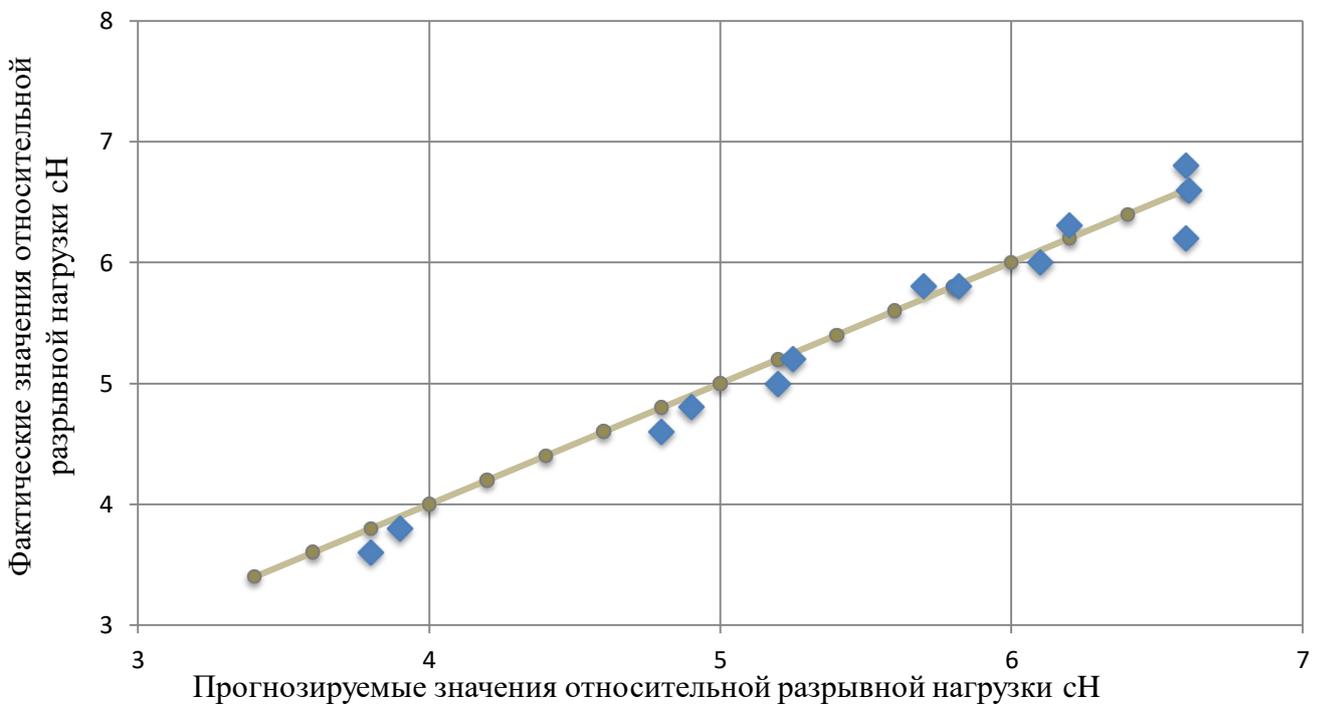


Рисунок 37 – Сравнение прогнозируемых значений относительной прочности

пряжи с фактическими на предприятии «Квест-А».

В соответствии с рекомендациями Teasdale D.C. [135] полагаем, что неровнота по тонине немытой шерсти соответствует аналогичному показателю мытой шерсти.

Окончательный вариант модели проектирования разрывной нагрузки шерстяной пряжи приобрел следующий вид:

$$P = -251,42 + 5,17LN + 0,51P_{штап.} - 4,93d_B + 2,34VM + 0,99M + 3,17T + 2,33K - 5,17A$$

По результатам анализа полученной модели, можно выделить несколько свойств сырья, которые влияют на показатель прочности: тонина немытой шерсти d_B , линейная плотность пряжи T (влияние отрицательное); прогнозируемая длина волокон в гребенной ленте LN , разрывная нагрузка волокон шерсти p_B , крутка пряжи K (влияние положительное).

На рисунках 38 и 39 представлено сравнение показателей прочности стандартного процесса прядения и непрерывного цикла от ПОШ до получения готовой пряжи на примере предприятия «Квест-А». Для анализа данных использовались методы проектирования относительной разрывной нагрузки шерстяной пряжи, описанные в [62]. Из них видно, что коэффициент совпадения близок к 1. При сравнении результатов двух различных предприятий видно, что фактические значения залегают ближе к прогнозируемым на предприятии работающему по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа».

Проанализировав результаты проектирования абсолютной и относительной прочности на предприятиях с различным технологическим процессом, можно сделать вывод, что фактические результаты предприятия «Квест-А» лежат ближе к прогнозируемым, что говорит о более высокой степени эффективности процесса и лучшем качестве продукта на выходе.

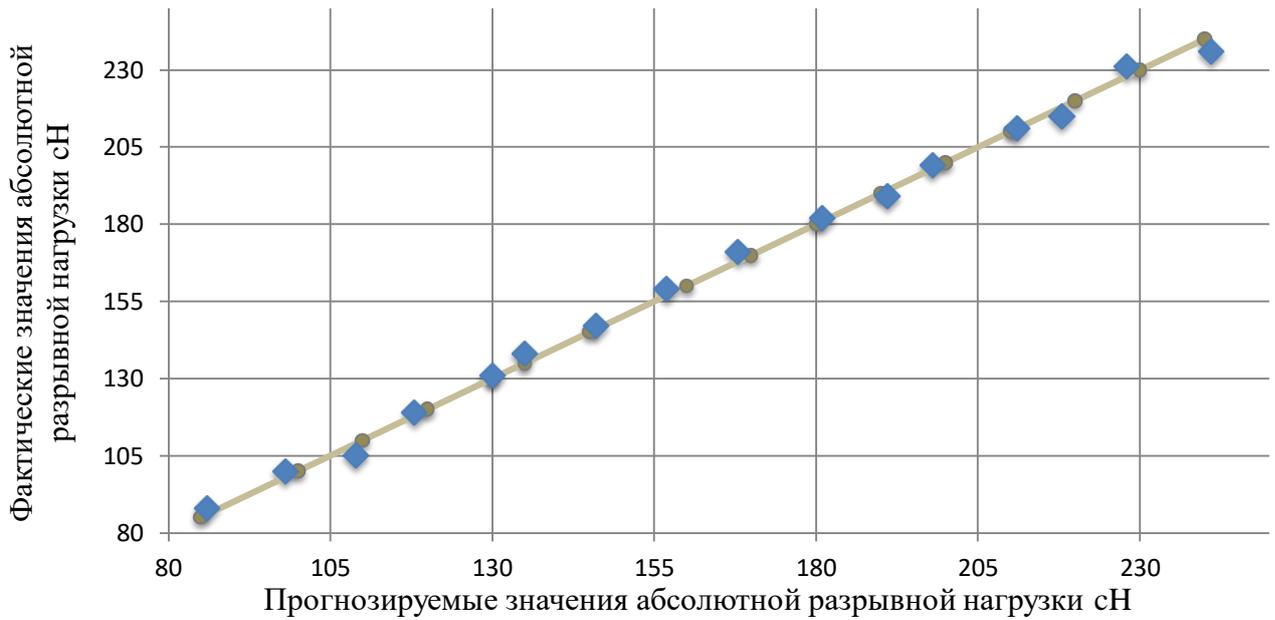


Рисунок 38 – Сравнение прогнозируемых значений абсолютной прочности пряжи с фактическими на предприятиях отрасли

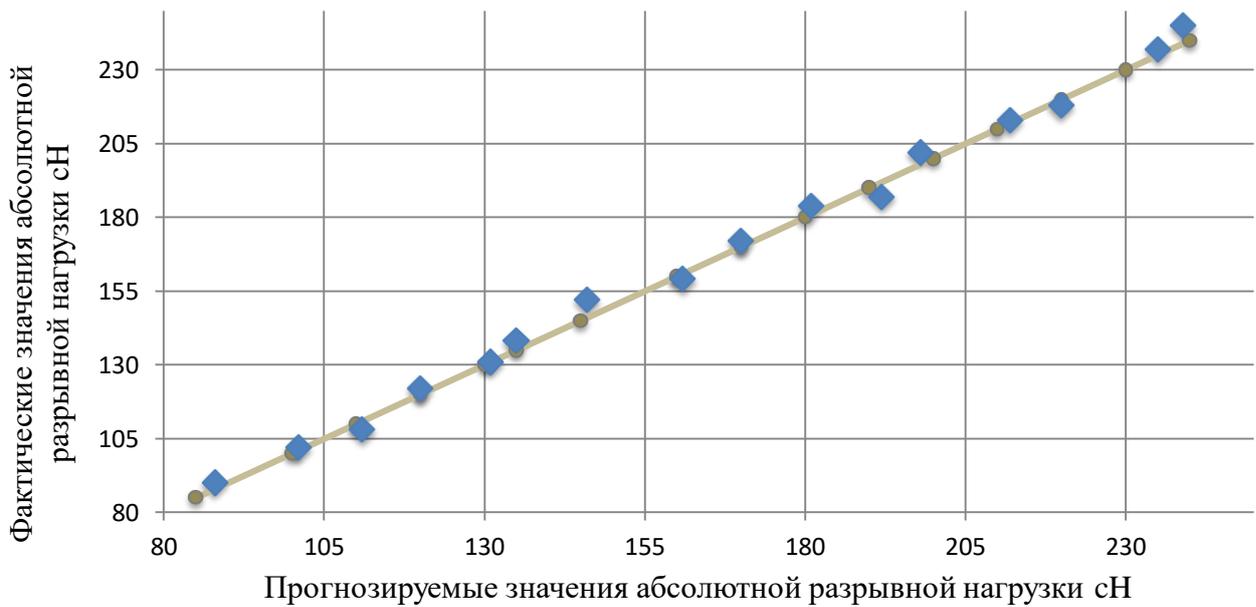


Рисунок 39 – Сравнение прогнозируемых значений абсолютной прочности пряжи с фактическими на предприятии «Квест-А»

4.5.3 Определение показателей прочности крученой шерстяной пряжи с помощью компьютерного моделирования

В работе [104, 105, 106] Толубеева Г.И. разработала методики расчета, алгоритм и программное обеспечение, которые позволяют получить зависимости для любых случаев определения прочности хлопчатобумажной и хлопкохимической пряжи. Так же, разработанные инструменты рассчитать разрывную нагрузку крученой пряжи. Разработанные технологии и инструменты рассмотрены применительно для хлопчатобумажной и хлопкохимической пряжи, но были использованы в вопросе определения показателей прочности крученой чистошерстяной пряжи.

Так как в вышеописанной работе рассматривалась только хлопчатобумажная и хлопкохимическая пряжа, то основываясь на проделанную работу в [104, 105, 106] разработан алгоритм и программное обеспечения для расчета показатели прочности крученой чистошерстяной пряжи. Для определения показателей прочности чистошерстяной пряжи использовалась пряжа различной линейной плотности.

В ходе исследования была получена зависимость разрывной нагрузки крученых нитей и коэффициент усиления разрывной нагрузки в результате скручивания. Разрывная нагрузка крученой пряжи есть производная разрывная нагрузка скручиваемой пряжи и коэффициента усиления.

Предложенная в [104] методика расчета коэффициента усиления в процессе крутки пряжи нескольких сложений может быть использована для определения коэффициента крутки K_{yc} шерстяной трикотажной пряжи. В применимой модели производится расчет разрывной нагрузки пряжи в процессе крутки:

$$S_{ycj} = p_{1,j}x^{n-1} + p_{2,j}x^{n-2} + \dots + p_{n-1,j}x + p_{n,j} \quad (4.86)$$

В статье [104] были получены коэффициенты аппроксимации для одиночной и крученой пряжи различной линейной плотности.

По приведенной методике был произведен расчет коэффициентов увеличения относительной прочности при скручивании S_{yc_j} для шерстяной трикотажной пряжи, 25 текс – (7), 36 текс – (8), 50 текс – (9) и 84 текс – уравнение:

$$S_{yc_1} = 0,0014x^4 - 0,0182x^3 + 0,0655x^2 + 0,0154x + 0,936,$$

$$S_{yc_2} = -0,0015x^4 + 0,026x^3 - 0,1591x^2 + 0,458x + 0,71,$$

$$S_{yc_3} = 0,0015x^5 - 0,0226x^4 + 0,1478x^3 - 0,4588x^2 + 0,7169x + 0,618,$$

$$S_{yc_4} = 0,0005x^4 - 0,0072x^3 + 0,041x^2 - 0,0558x + 1,025.$$

На рисунке 40 представлены взаимосвязи коэффициентов S_{yc_j} увеличения разрывной нагрузки одиночной шерстяной пряжи к числу сложений. Увеличение шага сложения $\Delta x = 0,1$

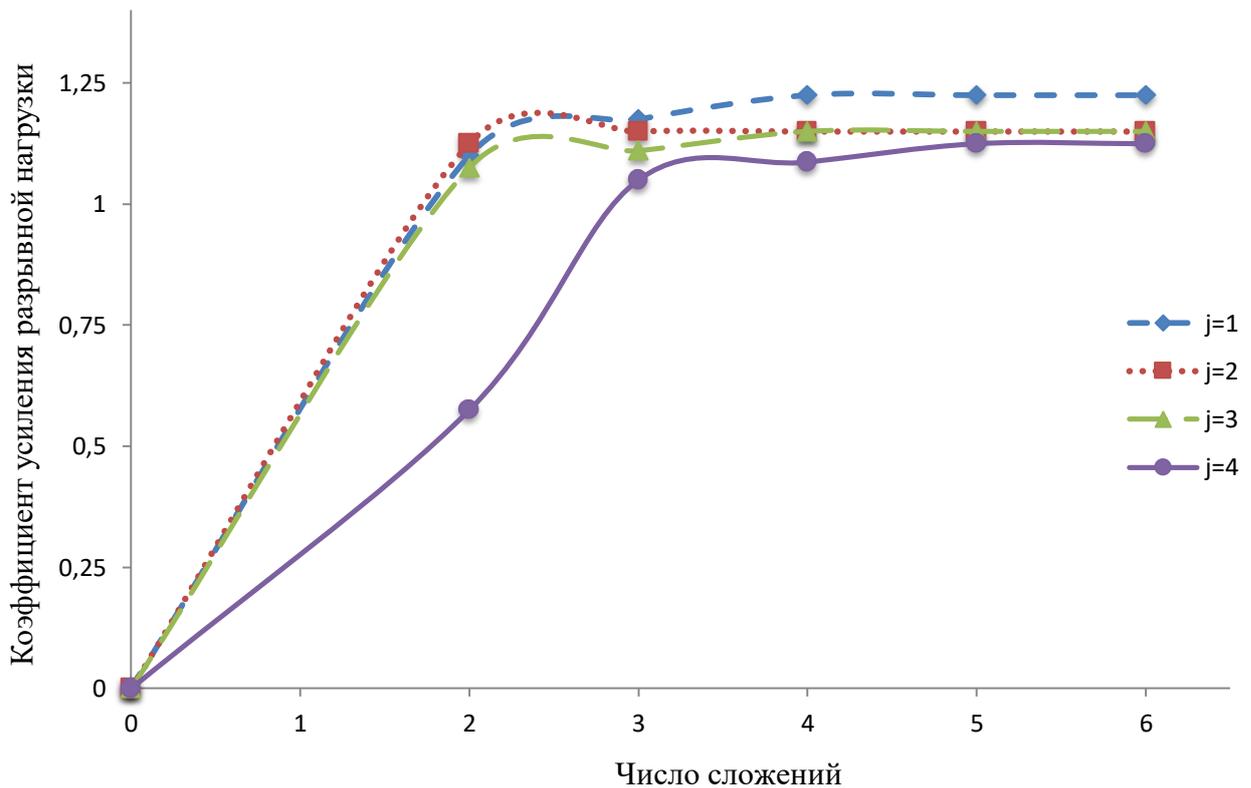


Рисунок 40 – Взаимосвязь коэффициента усиления разрывной нагрузки шерстяной пряжи и числа сложений в процессе крутки

Из графика, представленного на рисунке 40, видно, что коэффициент усиления разрывной нагрузки прямо пропорционально растет с увеличением

числа сложений. Максимальный показатель прочности зафиксирован при четырех сложениях, после чего при увеличении числа сложений прочность остается практически неизменной.

Для шерстяной пряжи линейной плотности 84 текс с различным числом сложений были получены коэффициенты усиления прочности:

$$S_{yc4} = 0,031x + 0,9772,$$

$$S_{yc4} = -0,0031x^2 + 0,0486x + 0,9473,$$

$$S_{yc4} = -0,0025x^3 + 0,0211x^2 - 0,0238x + 1,0049,$$

$$S_{yc4} = 0,0005x^4 - 0,0062x^3 + 0,041x^2 - 0,0558x + 1,025.$$

На основании полученных коэффициентов был построен график, представленный на рисунке 41.

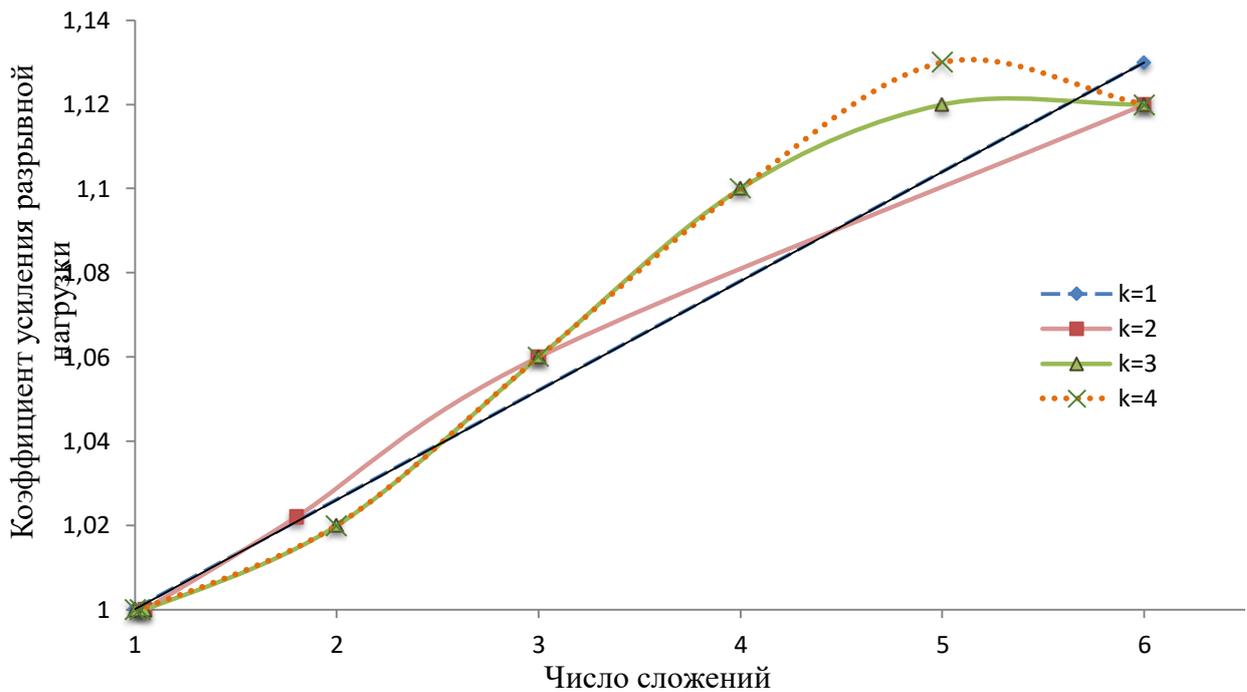


Рисунок 41 – Обратная взаимосвязь коэффициента усиления разрывной нагрузки шерстяной пряжи и числа сложений

Анализ рисунка 41 показывает, что коэффициент усиления прочности с тремя и четырьмя числами сложений более приближенно соответствует истине.

4.6 Решение задач определения прочности крученых и плетеных изделий с помощью разработанной автоматизированной системы

В статье [1] были рассмотрены структуры крученых и плетеных канатов. При этом проводилось сравнение с канатами иных способов переплетения с целью выявления различных структур изделия.

Одной из отличительных особенностей плетеных и крученых изделий и, в частности, канатов сквозного переплетения является равенство длин прядей, входящих в единицу длины изделия. Известны канаты и другие плетеные изделия из четырех, восьми и большего числа прядей одинаковой длины, равномерно заполняющих сечение [40].

Увеличение числа элементов – прядей в канате необходимо в целях, например, создания более прочного изделия при прочих равных условиях. Между тем, наличие разности длин элементов, входящих в готовое изделие (наличие короткого сердечника) может привести к неодновременности разрыва и снижению агрегатной прочности каната. Поэтому равенство длин элементов в плетеных канатах сквозного переплетения [40].

Следует отметить, что крученый канат может рассматриваться как частный случай плетеного каната, у которого отсутствует одна система прядей.

В статье приведены [1] особенности структур крученых и плетеных изделий.

В ходе исследования было определено, что разработанные методы автоматизированного расчета прочностных характеристик крученой пряжи, так же применим для расчета прочностных характеристик крученых канатов. Так как, разработанная система позволяет устанавливать для расчета структуру и свойства составляющих прядей, описанная методика была применена в расчете прочности крученого каната [93].

Дана реально составленная программа вычислений, связанных с проектированием физико-механических характеристик изделия.

Эта программа может быть использована для расчетов, связанных с

проектированием и исследование физико-механических характеристик всевозможных вариантов пряжи различных размеров, с разными параметрами формирования из любых материалов.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | |
|----|----|---|--|-----------|-----------------|---|---|---|--------------|---|--------------|----------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|--|
| 1 | | | Структура каната | | Выбор структуры | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | №№ | Исходные данные | Плетеный | Крученный | Плетеный | | | | η_0^- | \bar{q}_i | $q_i(1+b_i)$ | N^- | N^+ | $G = P$ | θ_p | НИП | N | ETA | |
| | ПП | | | | Расчет | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1 | Окружность каната (мм) | 150 | 125 | | | | | 2,01643 | 952,931 | 8576,38 | -3265,24 | 36007,5 | 32573,8 | 0,76759 | 0,86688 | 32742,3 | 1,15511 | |
| 4 | 2 | Начальный шаг свивки каната НО (мм) | 80 | 103 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 3 | Начальный шаг свивки пряжи m_0 (мм) | 40 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 4 | Толщина наболки ткес (мм) | 2,3 | 2,3 | | | | | η_0^- | относительное удлинение центральной каболки пряжи | | | | | | | | | |
| 7 | 5 | Число слоев каболки в пряжи m | 3 | 3 | | | | | \bar{q}_i | нагрузка на каждую каболку | | | | | | | | | |
| 8 | 6 | Распределение каболки по слоям 1+b_i | 6 | 7 | | | | | $q_i(1+b_i)$ | нагрузка на каждый слой, направленная вдоль оси пряжи | | | | | | | | | |
| 9 | 7 | Относительное разрывное удлинение каболки η_0 | 0,37 | 0,37 | | | | | N^- | усилие сопротивления усадке | | | | | | | | | |
| 10 | 8 | Величина оптимальной относ. докрутки γ_m | | | | | | | N^+ | суммарное усилие каболки | | | | | | | | | |
| 11 | 9 | $\alpha=f(\eta)$ (задается уравнением) | $q = A\eta^3 + B\eta^2 + C\eta$ | | | | | | $G = P$ | прочность каната | | | | | | | | | |
| 12 | 10 | $N^+ (\eta_0^+)$ (задается уравнением) | $N^+ = - \sum_{i=0}^{m-1} A \frac{ \eta_i - \eta_i}{2} + B \left(\frac{ \eta_i - \eta_i}{2} \right)^2 + \alpha \left(\frac{ \eta_i - \eta_i}{2} \right)^3$ | | | | | | θ_p | Относительное разрывное удлинение каната | | | | | | | | | |
| 13 | 11 | Шаг по удлинению каната ΔN груб.-точный (мм) | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 12 | Шаг поиска $\Delta \eta_0^+$ - усадки | 0,005 | 0,005 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 13 | Минимальная усадка $ \eta_0^+ _{min}$ | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 14 | Максимальная усадка $ \eta_0^+ _{max}$ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 15 | Число шагов поиска усадки n_{η} | 200 | 200 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 16 | $\frac{ N }{N}$ Максимальное отклонение от нуля – “а” (кгс) | 10 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | |

Рисунок 42 – Форма ввода и вывода расчетных данных

Видим список входящих параметров, которые лишь являются параметрами для справки.

Далее нажав на кнопку «Расчет», появится окно:

| Ввод данных | Плетеный | Крученный |
|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Окружность (мм) | <input type="text" value="130"/> | <input type="text" value="125"/> |
| Начальный шаг (мм) | <input type="text" value="130"/> | <input type="text" value="103"/> |
| Шаг по удлинению | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="1"/> |
| Начальный шаг пряди (мм) | <input type="text" value="48"/> | <input type="text" value="81"/> |
| Толщина (мм) | <input type="text" value="2.3"/> | <input type="text" value="2.3"/> |
| Число слоев в пряди | <input type="text" value="3"/> | <input type="text" value="3"/> |
| Распределение каболок по слоям | <input type="text" value="6"/> | <input type="text" value="7"/> |
| | Полученные результаты: | |
| Относительное удлинение | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Нагрузка на по слоям (ктекс) | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Нагрузка на прядь (ктекс) | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Нагрузка(прочность) (ктекс) | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Отн. разрывное удлинение | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Коэффициент использования прочности | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Оптимальная относительная докрутка | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | <input type="button" value="Расчет"/> | |

Рисунок 43 – Вводные данные

«Окружность» – толщина изделия;

«Начальный шаг» – длина первого шага плетения/кручения изделия;

«Шаг по удлинению» – шаг удлинения;

«Начальный шаг пряди» – длина первого шага плетения/кручения пряди;

«Толщина» – толщина слоя;

«Число слоев в пряди» – количество слоев, заложенных в одной пряди;

«Распределение по слоям» – структура залегания каболок слоях прядей;

По нажатию кнопки «Расчет», в пустые ячейки выводятся значения после расчета.

| Ввод данных | Плетеный | Крученный |
|-------------------------------------|----------|-----------|
| Окружность (мм) | 130 | 125 |
| Начальный шаг (мм) | 130 | 103 |
| Шаг по удлинению | 1 | 1 |
| Начальный шаг пряди (мм) | 48 | 81 |
| Толщина (мм) | 2.3 | 2.3 |
| Число слоев в пряди | 3 | 3 |
| Распределение каболок по слоям | 6 | 7 |
| Полученные результаты: | | |
| Относительное удлинение | 0.4174 | 0.4703 |
| Нагрузка на по слоям (ктекс) | 346.46 | 430.17 |
| Нагрузка на прядь (ктекс) | 3118.15 | 4301.78 |
| Нагрузка(прочность) (ктекс) | 7156.66 | 10279.73 |
| Отн. разрывное удлинение | 0.5419 | 0.906 |
| Коэффициент использования прочности | 0.979 | 0.8992 |
| Оптимальная относительная докрутка | 0.603 | 0.603 |

Расчет

Рисунок 44 – Полученные результаты

«Относительное удлинение» – коэффициент удлинения при разрыве относительно начального значения;

«Нагрузка по слоям» – нагрузка на одну каболоку в момент разрыва (килотекс);

«Нагрузка на прядь» – нагрузка на одну прядь в момент разрыва (килотекс);

«Нагрузка(прочность)» – прочность изделия в момент разрыва(килотекс);

«Отн.разрывное удлинение» – коэффициент удлинения изделия относительно начального значения в момент разрыва;

«Коэффициент использования прочности» – один из важных параметров, показывает прочность трикотажной пряжи и может принимать значения от 0 до 1;

Чем больше значение, тем выше прочность пряжи соответственно.

«Оптимальная относительная докрутка» – докрутка изделия относительно начальному значению;

На рисунке 45 представлена диаграмма «нагрузка-удлинение» восьмипрядного плетеного изделия.

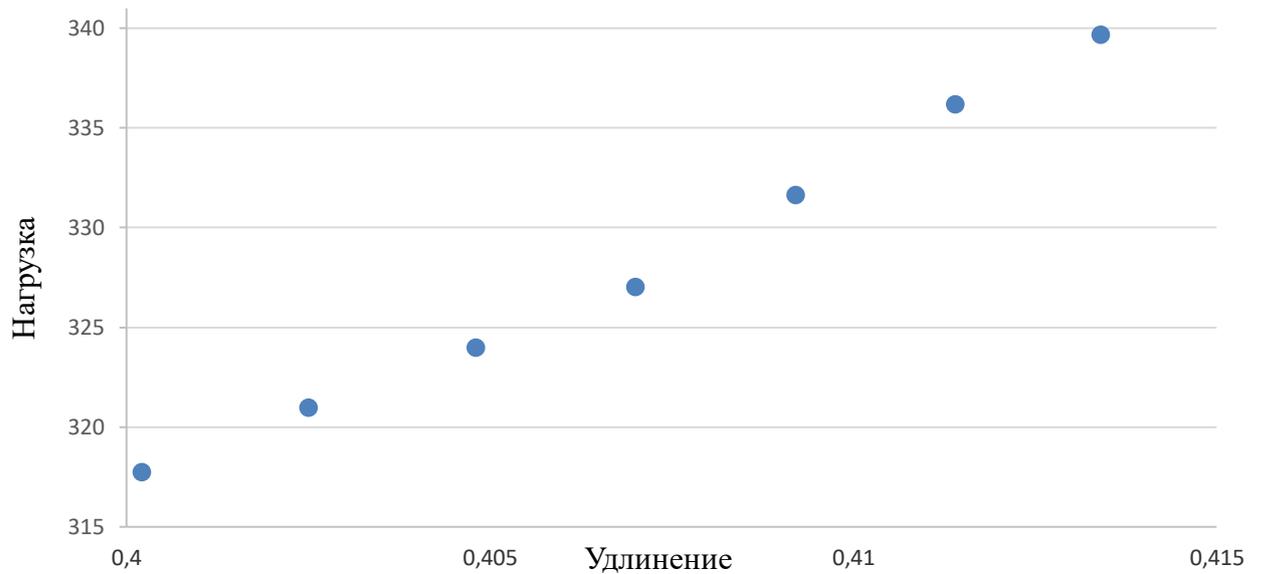


Рисунок 45 – Сравнение «нагрузка-удлинение» восьмипрядного плетеного изделия

На рисунке 46 представлена диаграмма «нагрузка-удлинение» и трехпрядного крученого изделия.

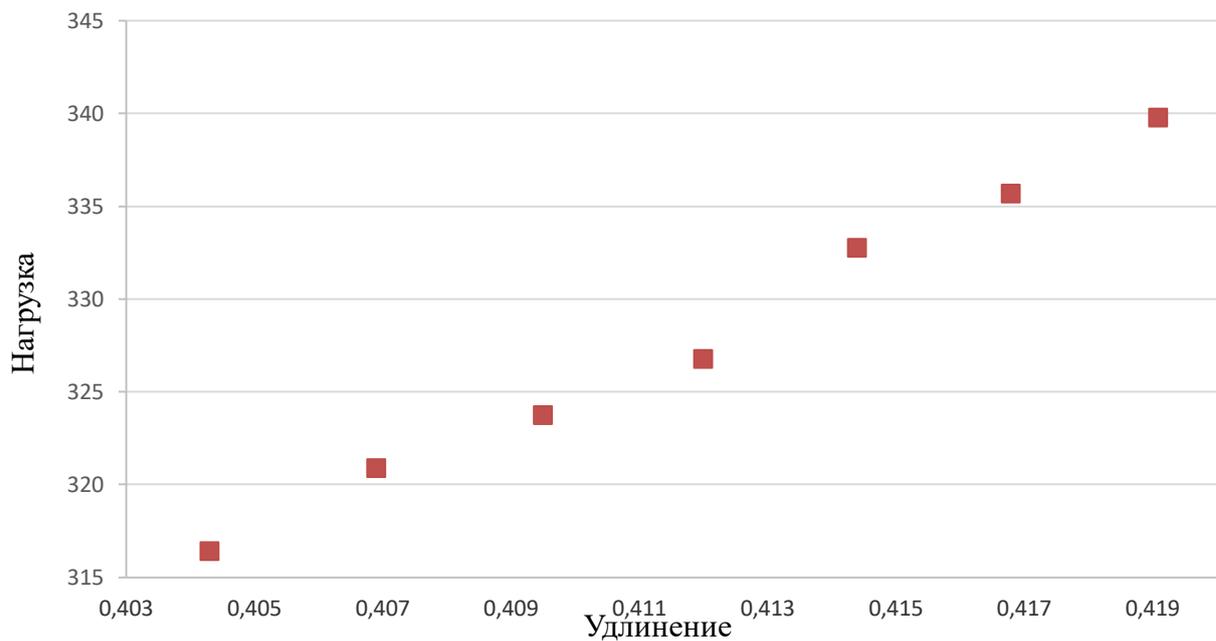


Рисунок 46 – «нагрузка-удлинение» трехпрядного крученого изделия

Был выбран вариант сравнения продуктов с одинаковыми входными данными ($H_0 = 81, l_0 = 40$). Из графика можно сделать вывод, что при равных условиях, прилагая приблизительно равную нагрузку на каболку, трикотажная

пряжа имеет меньшие показатели относительного разрывного удлинения, что говорит о том, что коэффициент использования прочности у него будет выше, нежели плетеного изделия.

В таблице 28 приведены прочностные характеристики крученых и плетеных изделий. Полученные результаты прочностных характеристик крученых и плетеных канатов, доказывает возможность применять разработанную систему в изучении данного вопроса расчета прочности крученых и плетеных изделий из текстильных материалов.

Таблица 28 – Прочностные характеристики плетеных и крученых изделий

| Структура каната | Плетеный | | Крученый | Плетеный | | Крученый | Плетеный | | Крученый | Плетеный | | Крученый |
|---|------------|------|---------------|----------------|------|--------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|--------------|-------|--------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| Окружность (мм) | 39 | | 35 | 70 | | 60 | 130 | | 115 | 200 | | 200 |
| Число каболок в | 24 | | 21 | 64 | | 66 | 120 | | 126 | 360 | | 360 |
| Число слоев в пряди | 1 | | 2 | 2 | | 3 | 2*3 | | 4 | 4 | | 7 |
| Толщина каболок (ктекс) (диаметр) мм | 2,5 (1,63) | | 2,5 (1,63) | 3,34 (1,88) | | 3,34 (1,88) | 5,0 (2,3) | | 5,0 (2*3) | 5,0 (2,3) | | 5,0 (2,3) |
| Относит.разрыв.удлине ние каболок | 0,25 | | 0,25 | 0,25 | | 0,25 | 0,25 | | 0,25 | 0,25 | | 0,25 |
| Диаметр пряди (мм) | 3,26 | | 5,5 | 6 | | 10,3 | 10 | 12 | 17,4 | 17,4 | | 31,2 |
| Шаг крутки Н (мм) | 30 | 35 | 30 | 60 | 65 | 55,5 | 105 | 105 | 93,8 | 174 | 200 | 174 |
| Относит.разрыв. удлинение θ_p (пряди, залегают без усадки) | 0,425 | 0,38 | 0,38 | 0,4 | 0,37 | 0,382 | 0,385 | 0,44 | 0,38 | 0,398 | 0,363 | 0,37 |
| Шаг крутки пряди (мм) | 16 | 16 | 20 | 26 | 26 | 30 | 50 | 65 | - | - | - | - |
| Относит.разрыв.удлине ние θ_p (пряди залегают при полной усадке) | 0,532 | 0,48 | 0,855 | 0,745 | 0,71 | η_{m-1} $\neq 0$ | η_{m-1} $\neq 0$ | 0,795 | η_{m-1} $\neq 0$ | “- | “- | “- |
| Относит. разрыв. удлинение θ_p , (пряди залегают при неполной усадке) | - | - | - | - | - | 0,21 | 0,7 | - | 1,43 | 1,49 | 1,36 | 0,84 |

Выводы по четвертой главе

1. Экспериментально определены прочностные характеристики шерстяной трикотажной пряжи: удлинение, нагрузка, коэффициент использования прочности.

2. Произведен анализ процесса кручения шерстяной трикотажной пряжи. Разработана математическая модель и методика расчета прочностных характеристик шерстяной пряжи.

3. В процессе исследование установлено, что на прочность и качество изделия напрямую зависит прочность и качество свойств составляющих прядей. Определены прочностные характеристики прядей, из которых состоит шерстяная трикотажная пряжа. Разработана комплекс алгоритм и автоматизированная система расчета и моделирования прочности и физико-механических характеристик шерстяной трикотажной пряжи, в зависимости от свойств составляющих его прядей. Произведены расчеты и моделирование прочности трикотажных изделий. Полученные расчетные показатели прочности имеют расхождение не более 1% относительно показателей прочности полученных в результате экспериментов.

4. Полученные результаты относительного изменения расчетного коэффициента использования прочности трикотажной пряжи с увеличением размеров изделия вдвое меньше среднего показателя относительного изменения и составляет в среднем 5%. Показатели коэффициента использования прочности трикотажной пряжи находятся в диапазоне 0,87-0,91.

5. Изучен процесс крутки пряжи. Определено влияние крутки на прочность и качество трикотажной пряжи. Получен критический коэффициент крутки для шерстяной трикотажной пряжи: $a_{кр} = 0,42$. Установлено, что максимальный показатель прочности пряжи в процессе крутки, зафиксирован при четырех сложениях.

6. Осуществлено проектирование относительной и абсолютной разрывной нагрузки пряжи на предприятии по циклу «немытая шерсть – трикотажная пряжа». Произведен анализ и сравнение полученных результатов с результатами на предприятиях данной отрасли. Установлено, что на предприятиях с полным циклом вырабатывается трикотажная пряжа повышенной прочности, т.к. фактические результаты прочности расположены ближе к прогнозным, чем на предприятиях данной отрасли.

7. Рассмотрен вопрос применения разработанной методики и автоматизированной системы для решения задач определения прочности для плетеных изделий, в частности канатов со схожей структурой. С помощью разработанной автоматизированной системы, получены расчетные показатели прочности крученых и плетеных изделий. Относительные показатели прочности при различной усадке находятся в интервале значений от 0,36 до 0,85. Проведено сравнение крученого и плетеного изделия.

8. Наибольшего эффекта в увеличении коэффициента использования прочности в изделии путем изменения начального шага крутки можно достичь у трикотажной пряжи, которая изготовлена из прядей, имеющих минимальное разрывное удлинение.

5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Произведен анализ факторов, влияющих на прочностные характеристики шерсти в условиях действующего предприятия работающего по непрерывной технологии первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой шерсти.

2. Исследованы и разработаны методы оценки и расчета прочностных характеристик в процессе первичной обработки отечественной тонкой шерсти и при производстве шерстяной трикотажной пряжи.

3. Разработанные в диссертации методики и модели позволяют улучшить механические характеристики шерсти и шерстяного волокна в производстве трикотажной пряжи по циклу немытая шерсть – трикотажная пряжа.

4. Разработана система компьютерно-статистического моделирования прочностных характеристик пучка нити при различном количестве нитей в пучке. Проведен комплекс статистического моделирования прочности пучка нити по нескольким законам распределения. Достигнуты максимально возможные показатели коэффициента использования прочности одиночной шерстяной нити – 0,93%

5. По результатам моделирования прочности пучка нитей можно сделать вывод, что коэффициент вариации по разрывной нагрузке влияет незначительно на коэффициент использования прочности, и меньше чем коэффициент вариации по разрывному удлинению, особенно при большом числе нитей в пучке, что находится в полном согласии с теорией.

6. Установлено, что при моделировании показателей прочности параллельных нитей с использованием закона гамма-распределения, коэффициент вариации по разрывной нагрузке меньше влияет на коэффициент использования прочности, чем при использовании закона нормального распределения, что позволяет в дальнейшем использовать в процессе моделирования первый закон для более точных прогнозируемых значений.

7. Разработаны математическая модель и автоматизированная система прочности шерстяного волокна и шерстяной трикотажной пряжи в зависимости от свойств составляющих их прядей. По результатам расчетов выявлено влияние структуры залегающих прядей, а также крутки на прочность трикотажной пряжи. Впервые установлены показатели коэффициента использования прочности шерстяной пряжи, которые находятся в диапазоне от 0,85 до 0,97.

8. Проведен анализ влияния структурных характеристик и трикотажной пряжи на их износоустойчивость. Даны методы расчета параметров формирования трикотажной пряжи, обеспечивающих минимальную потерю прочности.

9. Установлено, что в технологических условиях предприятия работающего по непрерывной технологии первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой шерсти, удастся повысить выход объема шерсти после кардочесального и кардочесального перехода на 7-10%.

10. Выход топса из невыттой шерсти достиг показателей 67%, а потери волокон находятся в диапазоне от 2,7-3% по международному стандарту IWTO. Полученные результаты превышают усредненные показатели на 6-8%.

11. В процессе проектирования прочности шерстяной трикотажной пряжи 31 текст по технологии первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой шерсти 58-56^к получены пределы изменения прочности от 88,9 сН до 246,2 сН.

12. Предложенные методы оценки прочности шерстяных волокон и шерстяной пряжи, использованы при выборе оптимальных технологических условий в ООО «Квест-А». На предприятии эффективно используются технологические предложения позволяющей снизить общее количество отходов по переходам технологической цепочки не менее чем на 2-2,5%.

13. Технология первичной обработки и глубокой переработки отечественной тонкой шерсти позволяет увеличить объем выхода чистой шерсти и пряжи на 3-4%.

6. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Байчоров Т.М. Особенности канатов, получаемых способом кручения и плетения. // Инженерный вестник Дона: электрон. науч. журн. 2015, №3. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_128_baychorov.pdf_34e087a65d.pdf
2. Байчоров Т.М. Разработка алгоритма метода расчета физико-механических характеристик плетеных канатов. Сборник научных трудов аспирантов. Вып.20. – М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014. – 148 с.
3. Байчоров Т.М. Прогнозирование прочности пучка нитей / Т.М. Байчоров, Ю.М. Винтер, В.И. Монахов, М.Н. Гречухина // Дизайн и технологии – 2015 - № 48 (90) – с. 47-52.
4. Белицин М.Н. Синтетические нити (структура, свойства, методы расчета). М.: Легкая индустрия, 1970. - 192 с.
5. Белов Е.Б. Разработка технологии получения фасонной пряжи на основе изучения механизма поведения нитей при кручении: диссертация ... кандидата технических наук: 05.19.03. Санкт-Петербург, 1999.- 257 с.
6. Битус Е.И. Автоматизированный анализ и оптимизация характеристик полуфабрикатов при получении гребенной ленты в шерстопрядении. Сб. НИР ГОУ ВПО «РосЗИТЛП» №3, 2007
7. Битус Е.И. Исследование взаимосвязи между законами распределения шерстяных волокон с использованием современных методов и компьютерных технологий [Текст] / Е. И. Битус, П. А. Севостьянов, М. Б. Отыншиев, Е. П. Терешкина // Технологии XXI века в легкой промышленности - (Технологии XXI века в пищевой, перерабатывающей и легкой промышленности) -М: МГУТУ, 2015. - №9.
8. Битус Е.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов формирования гребенной ленты в шерстопрядении. М. Информ-Знание, 2007. 240 с.

9. Битус Е.И. Моделирование рассортировки волокон шерсти по длине при гребнечесании с учетом их разрыва [Текст] / Е. И. Битус // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002. - № 6. – С.28-32.
10. Битус Е.И. Разработка метода и моделей для прогнозирования характеристик шерстяных волокон после гребнечесания / Е. И. Битус, Ю. А. Зуев, М. Б.Отыншиев, И. М. Джурина // Технологии XXI века в легкой промышленности - (Технологии XXI века в пищевой, перерабатывающей и легкой промышленности) -М: МГУТУ, 2014. - №8.
11. Битус Е. И. Современные технологии изготовления гребенной ленты в шерстопрядении: Регистрационное свидетельство № 0320601428 от 04.10.2006г. М.: Федеральное агентство по информационным технологиям РФ, 2006.
12. Болотный А.П., Сысоева Е.К., Проталинский С.Е. Анализ разрушений нитей в процессе переработки на ткацких переходах. // Вестник КГТУ. – 2002. – №5. – С. 46-48.
13. Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А. Энциклопедический словарь. Издательство «Русское слово», 1996 г., 5547с.
14. Бусленко Н.П. Метод статистического моделирования / Н. П. Бусленко. – М.: Статистика, 1970. - 109 с.
15. Винтер Ю.М. Выбор наилучшего показателя, оценивающего радиальную миграцию смеси волокон в сечении пряжи / Ю. М. Винтер // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2011. - N 3 (332). - С. 124-127. - Библиогр.: с. 127
16. Винтер Ю.М. Новая техника и технология в пенько-джутовом прядении и кручении / Ю. М. Винтер, Меламед Л. Г. М.: Легкая индустрия, 1974. - 44с.
17. Винтер Ю.М. Определение наилучшего показателя неравномерности распределения смеси волокон в тангенциальном направлении сечения пряжи методом статистического моделирования / Ю. М. Винтер // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2014. - № 3(351). - С. 105-109.

18. Винтер Ю.М. Определение средней длины волокон в пряже по отсчетам ее линейной плотности с помощью ЭВМ / Ю. М. Винтер // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2010. - N 6 (327). - С. 74-77 .
19. Винтер Ю.М. Применение VBA для решения инженерных задач. Часть 2 [Электронный ресурс] / Ю. М. Винтер. - М.: МГТУ им. Косыгина, 2010. – 40 с.
20. Винтер Ю.М. Прогнозирование и оценка эффективности процессов смешивания в прядении: Дис. учен, степени д-ра техн. наук. Кострома, 1982. -264 с.
21. Гинзбург Л.Н., Комаров В.Г., Забелин В.А., Дверницкий И.М. Прядение лубяных и химических волокон и производство крученых изделий М.: Легкая индустрия, 1971 - 544 С.
22. Гусев В.Е. Сырье для шерстяных и нетканых изделий и первичная обработка шерсти. Учебное пособие для студентов ВУЗов текстильной промышленности. М., «Легкая индустрия», 1977, 408 с.
23. Дверницкий И.М. Влияние методов кручения на структуру многослойной пряжи и качественные характеристики крученого изделия [Текст] : Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / Моск. текстильный ин-т. - Москва : [б. и.], 1964. - 24 с.
24. Забелин В.А. Исследование процесса формирования многослойных крученых изделий для создания высокопроизводительных машин, работающих по принципу многократного кручения: автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Моск. текстильный ин-т. - Москва: [б. и.], 1963. - 29 с.
25. Зарецкас, С.-Г.,С. Механические свойства нитей при кручении. Москва: Легкая индустрия, 1979, 184 с.
26. Зотиков В. Е. Основы прядения волокнистых материалов / В. Е. Зотиков, И. В. Будников, П. П. Трыков. М.: Гизлегпром, 1959. —507 с.
27. Иванова М.Н. Формирование и развитие рынка шерсти в Забайкальском крае : автореферат дис. соискание ученой степени кандидата экономических наук

- : 08.00.05 / Иванова Марина Николаевна; [Место защиты: Байкал. гос. ун-т экономики и права]. - Иркутск, 2009. - 23 с.
28. Ишматов А.Б., Рудовский П.Н. Влияние неровноты по линейной плотности на неравномерность натяжения нитей при сновании // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №2. С. 145...148.
29. Коган А.Г., Кузнецов А.А., Махаринский Е.И., Ольшанский В.И. Имитационное моделирование полумоноклового испытания на растяжение пучка волокон / А. Г. Коган, [и др.] // Сборник докладов международной научной конференции «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» (22-23 ноября 2000 г.) / ВГТУ. - Витебск, 2000. - С. 85-88.
30. Комаров В.Г. Проектирование свойств льняной пряжи/ В.Г.Комаров. М.: Легкая индустрия, 1967. –102 с.
31. Корицкий К.И. Инженерное проектирование текстильных материалов [Текст]. - Москва : Лег. индустрия, 1971. - 352 с.
32. Корицкий К.И. Основы проектирования свойств пряжи. М.: Гизлегпром, 1963, 36 с.
33. Крутильные машины легкого и тяжелого типов.: метод. пособие для студентов / Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 2006., 35 с.
34. Кузнецов А.А. Разработка экспресс-методов оценки и прогнозирования физико-механических свойств текстильных нитей: автореф. дисс. На соискание ученой степени доктора технических наук: Спец. 05.19.01 «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности» / А.А. Кузнецов: Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 2007. – 36 с.
35. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей, ВГТУ. - Витебск, 2004., 225 с.
36. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И., Макаринский Е.И. Исследование влияния условий проведения испытаний на прочностные характеристики текстильных материалов // Физика процессов деформации и разрушения и прогнозирования

механического поведения материалов: Труды XXXVI Междунар. Семинара "Актуальные проблемы прочности", 26-29 сентября 2000 г.: в 2-х ч. / ВГТУ. - Витебск, 2000. - ч.2. - С.639-644.

37. Кузнецов А.А., Тхорева И.М. / Исследование влияния поперечной неравномерности показателей механических свойств на прочностные характеристики пучка текстильных нитей // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2009. – Вып. 16. – С. 53-57.

38. Шерстопрядильное производство: формулы, критерии, оценки / Г. О. Лежебрух. - М. : Легпромбытиздат, 1989. - 132 с.

39. Мамцев Е.Н., Пахнов М.Н. Прочность трикотажной пряжи и механические свойства капроновых нитей // Рыбное хозяйство. 1972. - № 9. - С.58 - 60.

40. Меламед Л.Г. Разработка методов расчета, технологии производства и оборудования для формирования плетеных канатов [Текст] : Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. 391 / Костром. технол. ин-т. - Москва : [б. и.], 1970. - 22 с.

41. Лабораторный практикум по механической технологии текстильных материалов / В. Ф. Галкин [и др.]; под ред. А. Г. Севостьянова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1993. – 272 с.

42. Мунтян В.А. Анализ технологических процессов и устройств для первичной обработки шерсти / В. А. Мунтян // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит = Energy saving. Power engineering. Energy audit. – 2010. – № 1. – С. 62-65.

43. Назаренко Е.В. Имитационное моделирование процесса растяжения и разрыва пучка волокон / Е. В. Назаренко, Д. Б. Рыклин, С. В. Соколов // Вестник Витебского государственного технологического университета. - 2014. - Вып. 27. - С. 62-69.

44. Онищенко Д.А. Вероятностное моделирование многомасштабного разрушения. // Механика твёрдого тела, No 5 (1999). С. 27-48.

45. Онищенко Д.Д. Об оценивании запаса прочности нагружаемой многоэлементной системы по ходу её разрушения / Д. Д. Онищенко. - Москва: ИПМ РАН, 2012. - 26 с.
46. Онищенко Д.Д. Эмпирическая методика предсказания коллапса нагружаемой многоэлементной системы. Надежность. 2013;(3):55-75
47. Пат. 2124080 Российская Федерация, МПК D01G37/00, D02G3/36. Способ формирования ровницы и устройство для его осуществления [Текст]/ Соркин А.П., и др.; заявитель и патентообладатель Костромской государственный технологический университет, ОАО «Костроматекстильмаш», АООТ Костромской научно-исследовательский институт льняной промышленности. - № 2001100972/12; заявл. 09.01.200; опубл. 2003.07.10.
48. Пат. 2193081 Российская Федерация, МПК D01B3/00. Способ очистки невыттой шерсти от загрязнений/ Рогачев Н.В.; Научно-исследовательский институт заготовок и первичной обработки шерсти.
49. Попова Е.Р. Разработка теории и расчет прочности скрученной камвольной пряжи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Москва, МГУДТ, 2014. – 143 с.
50. Протасова В.А., Бельшев Б.Е., Капитанов А.Ф. Прядение шерсти и химических волокон (приготовление гребенной ленты, ровницы и пряжи) М.: Лег-промиздат, 1988. – 334 с.
51. Иванцова Т.М. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: Учебное пособие. — Омск: 2003. 244 с.
52. Разумеев В.К. Исследование, совершенствование и внедрение аэродинамических крутильных устройств для самокруточного прядения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.19.02 / Разумеев Владимир Константинович; [Место защиты: Моск. гос. текст. ун-т им. А.Н. Косыгина]. - Москва, 2009. - 174 с.
53. Разумеев К.Э. Современные методы определения основных характеристик шерсти // Овцы, козы, шерстяное дело. –2003. –№1. –С. 37-38.

54. Разумеев К.Э. и др. Процессы, технология и оборудование приготовления крученой, фасонной пряжи и ниток. Разумеев К.Э., Павлов Ю.В., Чистобородов Г.И., Ашнин Н.М., Плеханов А.Ф., Павлов К.Ю., Михайлов Б.С., Минофьев А.А., Халезов С.Л., Асташов М.М. Учебное пособие. — Иваново: ИВГПУ, 2014. — 352 с.
55. Разумеев К.Э. Измерение длины, прочности и положения точки разрыва штапеля невытравленной шерсти // Овцы, козы, шерстяное дело. —1998. —№4. —С. 30-32.
56. Разумеев К.Э. Исследование теории выбросов случайных функций при оценке обрывности в шерстопрядении // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. —1999. —№3(249). —С.128-131.
57. Разумеев К.Э. Классификация и методы испытаний отечественного натурального сырья: учебное пособие для вузов / К. Э. Разумеев, Е. Л. Пашин, А. Ф. Плеханов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Московский гос. ун-т дизайна и технологии, Костромской гос. технический ун-т. - Одинцово : Одинцовский гуманитарный ин-т, 2013. - 377 с.
58. Разумеев К.Э. Методика прогнозирования тонких мест в шерстяной пряже // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. —1999. —№2 (248). — С. 38-41.
59. Разумеев К.Э. О прогнозировании обрывности в шерстопрядении // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. —1999. —№2 (248). —С. 125-128.
60. Разумеев К.Э. Оценка обрывности в шерстопрядении средствами теории выбросов случайных функций // Текстильная промышленность. —1999. —№7-8. — С. 25-29.
61. Разумеев К.Э. Проектирование свойств чистошерстяной камвольной пряжи с целью повышения ее качества и снижения обрывности в прядении: дисс.канд. техн. наук.—М., МТИ, 1984.—302 с.

62. Разумеев К.Э. Проектирование шерстяной гребенной ленты и пряжи на основе инструментального определения свойств немойтой шерсти: дисс.докт. техн.наук. – М., МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2003. – 315 с.
63. Разумеев К.Э. Теоретические основы технологии прядения: учеб. пособие для вузов / Разумеев К.Э., Павлов Ю.В., Чистобородов Г.И., Ашнин Н.М., Плеханов А.Ф., Павлов К.Ю., Михайлов Б.С., Минофьев А.А., Халезов С.Л., Асташов М.М. Учебное пособие. — Иваново: ИВГПУ, 2014. — 352 с.
64. Разумеев К.Э., Байчоров Т.М. Определение и анализ факторов, влияющих на основные свойства отечественной тонкой шерстяной пряжи. // Дизайн и технологии, 68(110) - 2018. - С.94-99
65. Разумеев К.Э., Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Байчоров Т.М., Повышение эффективности выравнивания и смешивания на кардочесальных машинах с использованием вероятностных факторов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 3(381) - 2019 г.
66. Разумеев К.Э., Скуланова Н.С., Родионов В.А., Попова Е.Р, Оренбах С.Б. Проектирование прочности аппаратной пряжи аналитическим методом. Сборник ОАО НПК «ЦНИИШерсть» 2011г. с. 24-30.
67. Разумеев К.Э., Скуланова Н.С., Родионов В.А., Попова Е.Р, Оренбах С.Б. Оптимизация параметров кардочесания при получении аппаратной пряжи из смесей нетрадиционных видов волокон пряжи аналитическим методом. Сборник ОАО НПК «ЦНИИШерсть» 2011г. с. 24-30.
68. Разумеев Э.И. Исследование и оптимизация процесса подготовки шерсти в поточной линии для приготовления чесальной ленты : диссертация ... кандидата технических наук : 05.19.03. - Москва, 1977. - 206 с
69. Самойлова Т.А. Исследование динамики характеристик волокон шерсти по их распределениям при кардо и гребнечесании / Т.А.Самойлова, В.В.Монахов, П.А. Севостьянов// Тезисы докладов 48 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвящённой 50-летию университета / УО «ВГТУ».-Витебск, 2015.-230 с.–С. 199-200.

70. Севостьянов А.Г. Моделирование технологических процессов(в текстильной промышленности)[Текст] :Учебник для вузов / А.Г.Севостьянов П.А. Севостьянов–М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.–344 с.88.
71. Севостьянов А.Г. Моделирование технологических процессов (в текстильной промышленности) [Текст]: Учебник для вузов / А. Г. Севостьянов, П. А. Севостьянов – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 344 с.
72. Севостьянов А.Г. Механическая технология текстильных материалов : Учеб. пособие / А. Г. Севастьянов; Моск. текстил. ин-т им. А. Н. Косыгина. - М.: МТИ, 1988. - 36 с
73. Севостьянов А.Г. Некоторые вопросы теории гребнечесания: дисс. к.т.н. - М., МГТИ. 1939. - 228 с.
74. Севостьянов П.А. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств [Текст] / П. А. Севостьянов, Д. А. Забродин, П. Е. Дасюк. - Москва : Тисо Принт, 2014. - 263 с
75. Севостьянов, П. А. Имитационная статистическая модель рыхления и очистки волокнистого материала [Текст] / П. А. Севостьянов, Т. А. Самойлова, В. В. Монахов, К. В. Ордов // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2016. - № 1 (30). – С. 54-61.
76. Севостьянов, П. А. Исследование неравномерности по линейной плотности при делении потоков волокнистого материала [Текст] / П. А. Севостьянов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 1988. - № 2. – С. 36-40.
77. Севостьянов П.А. Компьютерное моделирование длины и тонины волокон шерсти в топсе и ленте на основе данных натуральных экспериментов [Текст] / П.А.Севостьянов, К.В. Ордов, Е.И.Битус, Т.А.Самойлова, В.В.Монахов// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. –2015.-№6(360).–С. 185-188.
78. Севостьянов П.А. Компьютерное моделирование растяжения пучка нитей. Известия вузов. Технология текстильной промышленности, № 3 (316), 2009г.

79. Севостьянов П.А. Компьютерное моделирование технологических систем и продуктов прядения [Текст] / П. А. Севостьянов. – М.: Информ–Знание, 2006. – 448 с.
80. Севостьянов П.А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов [Текст] / П. А. Севостьянов. – М.: Тисо Принт, 2013. - 253 с.
81. Севостьянов П.А. Математические методы обработки данных [Текст] : учеб. пособие / П.А. Севостьянов. - М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина : Группа компаний Совьяж Бево, 2004. - 256 с.
82. Севостьянов П.А. Основы компьютерного моделирования систем [Текст] / П.А.Севостьянов, В. И. Монахов. –М.: Тисо Принт, 2016. - 361 с.
83. Севостьянов П.А. Прогнозирование характеристик и повышение эффективности исследований технологических систем прядильного производства[Текст]:дис. доктора техн.наук/ Севостьянов Петр Алексеевич.- М.,1985.–437с.
84. Скобова Н.В. Методы и средства исследований технологических процессов: методические указания к лабораторным работам для студентов спец. 1-50 01 01 «Производство текстильных материалов» заочной формы обучения на базе среднего специального образования / УО "ВГТУ" ; сост. Н. В. Скобова. - Витебск, 2015. - 48 с.
85. Скуланова Н.С. Проектирование технологии сформированной из нетрадиционных видов сырья аппаратной шерстяной пряжи: дисс. докт. техн. наук. –М., МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. –306 с.
86. Скуланова Н.С., Колесников Ю.П., Попова Е.Р. Проектирование прочности аппаратной пряжи из смесей новой квалификации // Вестник Московского государственного текстильного университета: Тематический сборник научных трудов «Инновационные технологии и материалы - М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2012. -С.15

87. Скуланова Н.С., Колесников Ю.П., Попова Е.Р. Проектирование прочностных свойств аппаратной пряжи с использованием гребенного топса // Известия вузов. Технология текстильной промышленности № 4. 2011г. – С.46.
88. Скуланова Н.С., Колесников Ю.П., Попова Е.Р. Теоретический расчет прочности аппаратной пряжи с оптимальным вложением в смеси полиамидных волокон // Химические волокна, № 2, 2011г. – С .23.
89. Скуланова Н.С., Попова Е.Р. Теоретические расчеты прочности и методика определения жесткости скрученной пряжи при кручении // Химические волокна 2013, № 2 – С.41 – 44.
90. Скуланова Н.С., Попова Е.Р., Артиков А.О. Проектирование прочности камвольной пряжи с вложением полиакрилонитрильных волокон // Известия вузов. Технология текстильной промышленности № 1. 2013г.- с. 51- 60.
91. Слепнева Е.В., Абдуллин И.Ш., Хамматова В.В. Исследование влияния механических и физических факторов на характеристики волокон в процессе первичной обработки шерсти. Вестник Казанского технологического университета 2013 Vol. 16.
92. Сова текстиль. ООО «Соватекс»: [Электронный ресурс]. М., 2012-2018. URL: <https://sova-textil.ru> (Дата обращения 21.04.2018)
93. Соколов Г.В. Вопросы теории кручения волокнистых материалов. Государственное научно-техническое издательство, Минлегпром СССР Москва, 1957. – С. 144.
94. Соколов Г.В. Вопросы теории кручения волокнистых материалов. М., Легкая промышленность, 1977. - 176 с.
95. Соколов Л.Е. и др. Материаловедение и технология текстильных материалов. Сборник методических пособий. Витебск: Витебский государственный технологический университет, 1999-2009.
96. Соколов Ю.Ф., Пахнов М.Н., Воцанкин А.И. Методика оценки жесткости трикотажной пряжи // Рыбное хозяйство №2. М.: Агропромиздат, 1987. - 58-60 с.

97. Соловьев А.Н. Проектирование свойств пряжи в хлопкопрядильном производ-стве: дисс. докт. техн. наук. – М., МТИ, 1951. – 228 с.М.: Гизлегпром, 1963. – 246 с.
98. Соловьев А.Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А.Н. Соловьев, С.М. Кирюхин, – М.: Легкая индустрия, 2010 — С. 215.
99. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов – М.: Легкая индустрия, 2010. — С. 215.
100. Справочник по шерстопрядению. Под ред. В.К. Афанасьева и др. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 473
101. Степанов С.Г. Развитие теории формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.19.02 / Степанов Сергей Гаевич. - Иваново, 2007. - 38 с.
102. Строение и свойства шерстяных волокон [Электронный ресурс] // Все о животноводстве: [Электронный ресурс]. М., 2004-2019. URL: <http://worldgonesour.ru/ovcevodstvo/1341-stroenie-i-svoystva-sherstyanyh-volokon.html> (дата обращения 05.03.2018)
103. Теория и расчет силовых факторов, определяющих равновесную структуру крученой нити [Текст] / В. П. Щербаков [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2012. - № 6 (342). - С. 166-171.
104. Толубеева Г. И. Определение показателей прочности крученой пряжи [Текст] / Г. И. Толубеева, Н. К. Романычев, В. Л. Маховер // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2006. - N 2. - С.. 44-47.
105. Толубеева Г.И. К расчету прочности крученой пряжи / Г.И. Толубеева, Н.К. Романычев // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2005): тез. докл. межвуз. научно-техн. конф. / Иванов.гос. текст. академия. – Иваново, 2005. – Ч.1. – С. 115-117.
106. Толубеева Г.И. О методике расчета прочности крученой пряжи при разработке САПР тканей / Г.И. Толубеева, Н.К. Романычев // Современные

технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль-2005): тез. докл. всерос. научно-техн. конф. / Москов. гос. технол. ун-т. – Москва, 2005. – С. 52.

107. Труевцев, Н. И. Технология и оборудование текстильного производства / Н. И. Труевцев Н. Н. Труевцев, М. С. Танзер, – М.: Легкая Индустрия, 1975. – 640 с.

108. Трухачев В.И., Мороз В.А. Шерстование / Учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по направлению подготовки 111100 Зоотехния. - Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2012. - 496 с

109. Фейман И.И. Зависимость диаметра пряжи от ее номера крутки. Известия Вузов. Технология текстильной промышленности, 1958, с.27.

110. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986. – 512 с.

111. Щербаков В.П., Кащеев О.В. Проектирование шерстяной пряжи малых линейных плотностей для ткани SUPER100//Известия вузов. Технология текстильной промышленности No 1. 2012г.–с.149-155.

112. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. – 268 с.

113. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Аналитические методы проектирования нити и пряжи. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. – 73 с.

114. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. –268 с.

115. Щербаков В.П., Скуланова Н.С., Дмитриев О.Ю., Цыганов И.Б., Попова Е.Р. Теоретические основы и экспериментальное определение жесткости нити при кручении и изгибе. //Известия вузов. Технология текстильной промышленности No 6. 2012г.-166-171

116. Щербаков В.П., Скуланова Н.С., Дмитриев О.Ю., Цыганов И.Б., Попова Е.Р. Теория и расчет силовых факторов определяющих равновесную структуру крученой нити//Известия вузов. Технология текстильной промышленности No 1. 2013г.-с. 156-161

117. Daniels H. E. The Statistical Theory of the Strength of Bundles of Threads. I. // Proc. Roy. Soc. London 1945 V. A183. P. 405.
118. Guthrie I. C., Morton D. M., Oliver P. H. An Investigation into Bending and Torsional Regidities of Some Fibres. - «J. Text. Inst», vol. 45 (1954), N 12, p. 912.
119. Hemmer P.C., Hansen A., Pradhan S. Rupture processes in fibre bundle model // Lect. Notes Phys. 2007. V. 705. P. 27–55.
120. Hidalgo R.C., Kun F., Herrmann H.J. Bursts in a fiber model with continuous damage. / Phys. Rev. E 2001. V. 64. No. 6 (pt. 2).
121. Karrholm N., Nordhammer G., Friberg. O. Penetration of Alkaline Solutions into Wool Fibres Determined by Changes' in the Rigidity Modulus. – «Text. Res. J.», vol. 25 (1955), N 11, p. 922-929.
122. Kun F., Raischel F., Hidalgo R.C., Herrmann H.J. Extensions of Fibre Bundle Models // Lect. Notes Phys. 2007. V. 705. P. 57–92.
123. L. R. G. Treloar. Journal of the Textile Institute, Proc., 1964, 55, 2, № 9, 13.
124. Meredith R. The Mechanical Properties of Textile Fiberes. North – Holland Publish-ing Co., Amsterdam, 1956, 325 p.
125. Morton, W.E., Hearle, J.W.S. (2008), Physical properties of textile fibres, England, Cambridge, p 765.
126. Nordon P. Some Torsion Properties of Wool Fibers, - «Text. Res. I.», vol. 32 (1962), N 7, p. 560-567.
127. Owen I. D. The Application of Searle's Single and Double Pendulum Methods to Single Fibre Rigidity Measurement. – «J. Text. Inst.», vol. 56 (1965), N 6, т. 329 and N 7, p. 389-406.
128. Peirce F. T. The Rigidity of Cotton Hairs. - «J. Text. Inst.», vol. 14 (1923), N 1, p. 1-11.
129. Rajamanic Kam Rangaswamy, Hansen Steven M., Jayaraman Sundaresan Analysis of the modelingmethodologies for predicting the strength of air-jet spunyams // Text. Res. J.-1997.-67, № 1. - pp.39-44.
130. Riding G. Journal of the Textile Institute, Trans. 50, 1959, №7, 425

131. Riding G. Journal of the Textile Institute, Trans., 1961, 35, № 8, 366.
132. Speakman I.B. The Rigidity of Wool and its Change with Absorbtion of Water Va-pour. – «Trans. Farad. Soc», vol. 25 (1929), 92-103.
133. Stansfield G. J. British Journal of Applied Physics, 1958, V. 9, № 4, 133.
134. Tattersall G. N. Journal of the Textile Institute, Trans., 1958, 49, № 6, 295.
135. Teasdale D.C. The Wool Handbook. The A to Z of Fibre to Top. Second revised printing, May 1995, pp. 1-121.
136. Textile World, L/68, 426-432.10. "Pragmatism with High Technology in spinning Sector", International Textile Month, 1983, pp. 26-32.
137. Winter Y.M., Monakhov V.I. Computer aided evaluation of migration degree of geterogenic fibers atcross-section of yarn//Textile industry technology.–No3 c, 2009.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Таблица А.1 – Результаты прогонов модели системы расчета прочности одиночной пряжи, пучка нитей и крученых и изделий при помощи закона Гука

| Свр, % | Све, % | r | n | КИП | Удл_разр | CV КИП | CV удл |
|--------|--------|----|----|----------|----------|----------|----------|
| 22 | 22 | 1 | 2 | 0,879855 | 0,905937 | 19,86358 | 20,23552 |
| 22 | 22 | 1 | 2 | 0,879594 | 0,905731 | 19,85876 | 222379 |
| 22 | 22 | -1 | 2 | 0,908334 | 0,876956 | 15,1393 | 20,98014 |
| 22 | 2 | -1 | 2 | 0,990943 | 0,988724 | 15,53565 | 1,671707 |
| 22 | 2 | 0 | 2 | 0,988816 | 0,988674 | 15,57036 | 1,671147 |
| 22 | 2 | 1 | 2 | 0,98679 | 0,988741 | 15,636 | 1,667817 |
| 2 | 22 | -1 | 2 | 0,894959 | 0,876291 | 7,810071 | 20,74718 |
| 2 | 22 | 0 | 2 | 0,893196 | 0,875656 | 8,330354 | 20,78893 |
| 2 | 22 | 1 | 2 | 0,892255 | 0,876286 | 8,808841 | 20,71801 |
| 22 | 22 | -1 | 4 | 0,825354 | 0,775752 | 12,57393 | 19,58843 |
| 22 | 22 | 1 | 4 | 0,799636 | 0,864698 | 15,87103 | 16,56842 |
| 22 | 22 | 1 | 4 | 0,799627 | 0,863276 | 15,89552 | 16,64133 |
| 22 | 2 | -1 | 4 | 0,982868 | 0,979413 | 10,98926 | 1,43197 |
| 22 | 2 | 0 | 4 | 0,979868 | 0,979429 | 11,03376 | 1,430894 |
| 22 | 2 | 1 | 4 | 0,976404 | 0,979423 | 11,1144 | 1,426113 |
| 2 | 22 | -1 | 4 | 0,806309 | 0,807914 | 1100791 | 18,20319 |
| 2 | 22 | 0 | 4 | 0,805204 | 0,812669 | 10,31171 | 18,05215 |
| 2 | 22 | 1 | 4 | 0,803705 | 0,817155 | 10,49879 | 17,9714 |
| 22 | 22 | -1 | 16 | 0,714911 | 0,729016 | 8,73254 | 13,21595 |
| 22 | 22 | 1 | 16 | 0,715432 | 0,814129 | 9,103354 | 10,76303 |
| 22 | 2 | -1 | 16 | 0,968995 | 0,964695 | 5,534759 | 1,121907 |
| 22 | 2 | 0 | 16 | 0,965108 | 0,964689 | 5,587745 | 1,122792 |
| 22 | 2 | 1 | 16 | 0,961487 | 0,966137 | 5,618919 | 1,016709 |
| 2 | 22 | -1 | 16 | 0,709278 | 0,764011 | 7,169794 | 12,22464 |
| 2 | 22 | 0 | 16 | 0,709159 | 0,767862 | 7,186556 | 12,12108 |
| 2 | 22 | 1 | 16 | 0,709195 | 0,772058 | 7,202813 | 11,9953 |

Продолжение таблицы А.1

| | | | | | | | |
|----|----|----|-----|----------|----------|----------|----------|
| 22 | 5 | -1 | 16 | 0,923071 | 0,91215 | 5,809804 | 2,939554 |
| 22 | 5 | 1 | 16 | 0,90964 | 0,925662 | 6,036967 | 2,350848 |
| 22 | 10 | -1 | 16 | 0,851389 | 0,839288 | 6,68729 | 5,859952 |
| 22 | 10 | 1 | 16 | 0,838702 | 0,877093 | 6,879448 | 4,768095 |
| 22 | 15 | -1 | 16 | 0,788784 | 0,78486 | 7,638548 | 8,98778 |
| 22 | 15 | 0 | 16 | 0,781123 | 0,811024 | 7,82237 | 8,28728 |
| 22 | 15 | 1 | 16 | 0,780788 | 0,843061 | 7,79462 | 7,16503 |
| 22 | 22 | -1 | 64 | 0,667561 | 0,709417 | 5,046874 | 8,644894 |
| 22 | 22 | 1 | 64 | 0,680236 | 0,792433 | 4,868346 | 6,821294 |
| 22 | 15 | -1 | 64 | 0,749575 | 0,767056 | 4,33575 | 5,848847 |
| 22 | 15 | 1 | 64 | 0,751479 | 0,824743 | 4,094998 | 4,543259 |
| 22 | 10 | -1 | 64 | 0,816803 | 0,82367 | 3,805712 | 3,895441 |
| 22 | 10 | 1 | 64 | 0,815888 | 0,862686 | 3,584572 | 3,067891 |
| 22 | 5 | -1 | 64 | 0,900223 | 0,896479 | 3,366009 | 2,034635 |
| 22 | 5 | 1 | 64 | 0,89439 | 0,917033 | 3,166845 | 1,582843 |
| 22 | 22 | -1 | 128 | 0,655829 | 0,703734 | 3,739773 | 6,977623 |
| 22 | 22 | 1 | 128 | 0,671777 | 0,7873 | 3,578194 | 5,465455 |
| 22 | 5 | -1 | 128 | 0,892794 | 0,893637 | 2,292314 | 1,613713 |
| 22 | 5 | 1 | 128 | 0,890428 | 0,914204 | 2,15541 | 1,195325 |
| 22 | 10 | -1 | 128 | 0,808358 | 0,81922 | 2,742566 | 3,118826 |
| 22 | 10 | 1 | 128 | 0,810207 | 0,860532 | 2,533986 | 2,399827 |
| 22 | 15 | -1 | 128 | 0,737238 | 0,762567 | 3,147049 | 4,669558 |
| 22 | 15 | 1 | 128 | 0,744674 | 0,821506 | 2,946697 | 3,602504 |
| 22 | 22 | -1 | 128 | 0,65549 | 0,705135 | 3,677484 | 6,937233 |
| 22 | 22 | 1 | 128 | 0,671528 | 0,786553 | 3,564438 | 5,480955 |

Где: $C_{вр}$ – коэффициент вариации 1-ой нити по разрывной нагрузке в долях; $C_{ве}$ – коэффициент вариации 1-ой нити по разрывному удлинению в долях; r – Коэффициент корреляции между разрывной нагрузкой и разрывным удлинением; n – количество нитей в пучке; КИП – коэффициент использования прочности; Удл_разр - разрывное удлинение, CV удл - коэффициент вариации пучка по разрывному удлинению в % , CV КИП - коэффициент вариации пучка по разрывной нагрузке в %

Таблица А.2 – Результаты прогонов модели системы расчета прочности одиночной пряжи, пучка нитей и крученых и изделий при помощи нормального закона распределения

| Свр, % | Све, % | r | n | КИП | Удл_разр | CV КИП | CV удл |
|--------|--------|----|----|----------|----------|----------|----------|
| 22 | 22 | 1 | 2 | 0,807869 | 0,957023 | 22,52562 | 20,39331 |
| 22 | 22 | 1 | 2 | 0,808081 | 0,956985 | 22,55215 | 20,32697 |
| 22 | 22 | -1 | 2 | 0,849176 | 0,87586 | 15,92643 | 20,73234 |
| 22 | 2 | -1 | 2 | 0,982481 | 0,988703 | 15,49519 | 1,669917 |
| 22 | 2 | 0 | 2 | 0,978282 | 0,988741 | 15,65249 | 1,672285 |
| 22 | 2 | 1 | 2 | 0,974208 | 0,988751 | 15,80546 | 1,666626 |
| 2 | 22 | -1 | 2 | 0,822866 | 0,875695 | 12,62975 | 20,75692 |
| 2 | 22 | 0 | 2 | 0,820358 | 0,87606 | 13,2662 | 20,70757 |
| 2 | 22 | 1 | 2 | 0,817695 | 0,877591 | 13,92428 | 20,62263 |
| 22 | 22 | -1 | 4 | 0,715354 | 0,808859 | 15,96261 | 18,31361 |
| 22 | 22 | 1 | 4 | 0,698095 | 0,922142 | 18,68944 | 16,28415 |
| 22 | 22 | 1 | 4 | 0,698196 | 0,921483 | 18,701 | 16,27164 |
| 22 | 2 | -1 | 4 | 0,966343 | 0,979425 | 11,05325 | 1,432319 |
| 22 | 2 | 0 | 4 | 0,960154 | 0,979416 | 11,16694 | 1,429713 |
| 22 | 2 | 1 | 4 | 0,95391 | 0,979679 | 11,35275 | 1,409697 |
| 2 | 22 | -1 | 4 | 0,698027 | 0,861948 | 14,14424 | 17,3587 |
| 2 | 22 | 0 | 4 | 0,697399 | 0,86667 | 14,29941 | 17,27198 |
| 2 | 22 | 1 | 4 | 0,696435 | 0,871284 | 14,46358 | 17,14272 |
| 22 | 22 | -1 | 16 | 0,58054 | 0,789067 | 11,06304 | 12,27148 |
| 22 | 22 | 1 | 16 | 0,584897 | 0,879817 | 11,37481 | 10,54394 |
| 22 | 2 | -1 | 16 | 0,939364 | 0,964709 | 5,709771 | 1,124502 |
| 22 | 2 | 0 | 16 | 0,931998 | 0,965555 | 5,829778 | 1,082857 |
| 22 | 2 | 1 | 16 | 0,927045 | 0,968807 | 5,820772 | 0,942101 |
| 2 | 22 | -1 | 16 | 0,57558 | 0,827983 | 9,919579 | 11,60469 |
| 2 | 22 | 0 | 16 | 0,575706 | 0,832462 | 9,91136 | 11,53022 |
| 2 | 22 | 1 | 16 | 0,575827 | 0,83629 | 9,902272 | 11,40992 |
| 22 | 5 | -1 | 16 | 0,856613 | 0,918031 | 6,644454 | 2,763479 |
| 22 | 5 | 1 | 16 | 0,841399 | 0,936904 | 6,709582 | 2,254137 |

Продолжение таблицы А.2

| | | | | | | | |
|----|----|----|-----|----------|----------|----------|----------|
| 22 | 15 | -1 | 16 | 0,666599 | 0,823895 | 9,533811 | 8,300658 |
| 22 | 15 | 0 | 16 | 0,659576 | 0,854452 | 9,851075 | 7,949548 |
| 22 | 15 | 1 | 16 | 0,661516 | 0,88734 | 9,648819 | 7,10755 |
| 22 | 22 | -1 | 64 | 0,524157 | 0,775399 | 6,490419 | 8,084165 |
| 22 | 22 | 1 | 64 | 0,539148 | 0,860661 | 6,325829 | 6,725751 |
| 22 | 15 | -1 | 64 | 0,616947 | 0,814311 | 5,595633 | 5,43708 |
| 22 | 15 | 1 | 64 | 0,620795 | 0,870877 | 5,308065 | 4,60683 |
| 22 | 10 | -1 | 64 | 0,705234 | 0,85218 | 4,653473 | 3,577858 |
| 22 | 10 | 1 | 64 | 0,704709 | 0,89347 | 4,253032 | 2,89632 |
| 22 | 5 | -1 | 64 | 0,823859 | 0,909513 | 3,848578 | 1,831031 |
| 22 | 5 | 1 | 64 | 0,820052 | 0,930178 | 3,35181 | 1,411878 |
| 22 | 22 | -1 | 128 | 0,509467 | 0,772122 | 4,848041 | 6,470893 |
| 22 | 22 | 1 | 128 | 0,527637 | 0,856759 | 4,642046 | 5,275424 |
| 22 | 5 | -1 | 128 | 0,815048 | 0,90713 | 2,679987 | 1,485249 |
| 22 | 5 | 1 | 128 | 0,813082 | 0,928112 | 2,465806 | 1,135407 |
| 22 | 10 | -1 | 128 | 0,693011 | 0,849035 | 3,42671 | 2,897515 |
| 22 | 10 | 1 | 128 | 0,697078 | 0,890567 | 3,198645 | 2,355134 |
| 22 | 15 | 1 | 128 | 0,602961 | 0,808798 | 4,067732 | 4,297181 |
| 22 | 15 | 1 | 128 | 0,612415 | 0,868181 | 3,772207 | 3,574223 |
| 22 | 22 | 1 | 128 | 0,510448 | 0,772075 | 4,786423 | 6,481375 |
| 22 | 22 | 1 | 128 | 0,527745 | 0,854473 | 4,685317 | 5,4058 |

Где: $C_{вр}$ – коэффициент вариации 1-ой нити по разрывной нагрузке в долях; $C_{ве}$ – коэффициент вариации 1-ой нити по разрывному удлинению в долях; r – Коэффициент корреляции между разрывной нагрузкой и разрывным удлинением; n – число нитей в пучке; КИП – коэффициент использования прочности; Удл_разр – разрывное удлинение, CV удл – коэффициент вариации пучка по разрывному удлинению в %, CV КИП – коэффициент вариации пучка по разрывной нагрузке в %

Таблица А.3 – Результаты прогонов модели системы расчета прочности одиночной пряжи, пучка нитей и крученных и изделий при помощи закона гамма-распределения

| Свр, % | Све, % | r | n | КИП | Удл_разр | CV КИП |
|--------|--------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 22 | 2 | 2 | 0,978053 | 0,988716 | 15,66318 | 1,656992 |
| 2 | 22 | 2 | 0,822973 | 0,876753 | 12,79187 | 18,81889 |
| 22 | 22 | 4 | 0,706825 | 0,855401 | 17,44006 | 17,03118 |
| 22 | 2 | 4 | 0,960327 | 0,979508 | 11,18008 | 1,41122 |
| 2 | 22 | 4 | 0,702618 | 0,85275 | 13,60971 | 16,66838 |
| 22 | 22 | 16 | 0,585222 | 0,812648 | 10,99164 | 11,24966 |
| 22 | 2 | 16 | 0,932767 | 0,965777 | 5,829252 | 1,057995 |
| 2 | 22 | 16 | 0,583191 | 0,811235 | 9,420904 | 11,02889 |
| 22 | 5 | 16 | 0,84785 | 0,925954 | 6,666205 | 2,47614 |
| 22 | 10 | 16 | 0,742987 | 0,879774 | 8,153842 | 4,865606 |
| 22 | 15 | 16 | 0,66549 | 0,845846 | 9,467476 | 7,463359 |
| 22 | 22 | 64 | 0,534554 | 0,792891 | 6,2636 | 7,213885 |
| 22 | 15 | 64 | 0,622027 | 0,830086 | 5,218255 | 4,84276 |
| 22 | 10 | 64 | 0,705063 | 0,868323 | 4,427684 | 3,101155 |
| 22 | 5 | 64 | 0,820654 | 0,917488 | 3,556768 | 1,612613 |
| 22 | 22 | 128 | 0,521802 | 0,786948 | 4,589629 | 5,831279 |
| 22 | 5 | 128 | 0,814053 | 0,916533 | 2,62322 | 1,316879 |
| 22 | 10 | 128 | 0,696355 | 0,865776 | 3,31118 | 2,537919 |

Где: Свр – коэффициент вариации 1-ой нити по разрывной нагрузке в долях; Све - коэффициент вариации 1-ой нити по разрывному удлинению в долях; r – Коэффициент корреляции между разрывной нагрузкой и разрывным удлинением; n – число нитей в пучке; КИП – коэффициент использования прочности; Удл_разр - разрывное удлинение, CV удл - коэффициент вариации пучка по разрывному удлинению в % , CV КИП - коэффициент вариации пучка по разрывной нагрузке в %



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«КВЕСТ-А»

Тел. 8 (499) 350-07-49

369000, Карачаево-Черкесская республика
город Черкесск, Пятигорское шоссе 23
ИНН / КПП 0901041813 / 090101001

АКТ

о внедрении результатов
диссертационной работы
Байчорова Тимура Муратовича

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Байчорова Тимура Муратовича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно, методы оценки прочности шерстяных волокон и шерстяной пряжи, использованы при выборе оптимальных технологических условий в ООО «Квест-А». На предприятии эффективно используются технологические предложения Т.М. Байчорова и его научного руководителя проф. К.Э. Разумеева о непрерывной технологии переработки немытой шерсти в трикотажную пряжу линейной плотности (31 текс), позволяющей снизить общее количество отходов по переходам технологической цепочки не менее чем на 2-2,5%.

При разработке использованы методы математического, компьютерного статистического и имитационного моделирования, теории вероятностных процессов, современные методы компьютерной обработки информации, методы разработки автоматизированных систем.

Генеральный директор
ООО «Квест-А»

22.08.18



Токов Р.Х.

