

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДИЗАЙНА И ТЕХНОЛОГИИ»

На правах рукописи

Денисова Екатерина Валерьевна

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
НЕОДНОРОДНЫХ НИТЕЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

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 В.П. Щербаков

Москва – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЗАЩИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ. РАССМОТРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АРМИРОВАННЫХ НИТЕЙ. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НИТЕЙ.....	10
1.1. Актуальность задачи получения защитных материалов с универсальными свойствами	10
1.2. Обзор сырья, используемого при производстве защитных изделий	12
1.3. Проблема эффективного использования параарамидных материалов применительно к защитным изделиям.....	18
1.4. Рассмотрение технологий получения армированных нитей.....	20
1.5. Анализ методов расчета прочности нитей различной структуры	37
Выводы по первой главе	47
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ	48
2.1. Выбор и обоснование сырья	48
2.2. Разработка структуры неоднородных комбинированных нитей.....	54
2.3. Выбор оборудования для наработки обкрученных нитей	58
2.4. Расчет натяжения стержневого компонента в процессе выработки комбинированных нитей.....	62
Выводы по второй главе	71
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА	72
3.1. Получение образцов комбинированных нитей, результаты их испытаний по основным характеристикам	72

3.2. Обработка результатов эксперимента, получение математических моделей	76
3.3. Исследование влияния числа обкручиваний на основные показатели комбинированных нитей.....	80
3.4. Получение образцов тканых лент. Результаты испытаний лент на устойчивость окраски к свету.....	84
3.5. Получение образцов комбинированных нитей с использованием импортного сырья	87
3.6. Результаты испытаний новой ассортиментной позиции. Анализ влияния числа обкручиваний на основные показатели комбинированных нитей	89
3.7. Исследование исходных компонентов и комбинированных нитей на устойчивость к самоистиранию.....	93
3.8. Исследование жесткости при изгибе неоднородных комбинированных нитей	98
Выводы по третьей главе	113
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ОБКРУЧЕННЫХ НИТЕЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОКРЫТИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТЕРЖНЕВОЙ НИТИ ОБКРУЧИВАЮЩИМ КОМПОНЕНТОМ.....	116
4.1. Расчет прочности неоднородных обкрученных нитей.....	116
4.2. Расчет площади покрытия поверхности стержневого компонента комбинированной нити обкручивающим компонентом.....	140
Выводы по четвертой главе	149
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ.....	150
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	152
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	162

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы работы. В настоящее время широкое применение находят материалы и изделия технического назначения, получаемые при помощи химических технологий. Связано это с ростом областей и масштабов производства, с развитием нанотехнологии и химии полимеров, с целесообразностью замены натурального сырья синтетическим и т.д.

Среди изделий технического назначения особого внимания заслуживают защитная одежда и средства индивидуальной защиты. Поскольку области применения подобных изделий различны, на этапе их создания закладываются соответствующие принципиальные свойства: высокую прочность, термо- и огнестойкость, устойчивость к действию химических реагентов и т.д.

Планировать и прогнозировать свойства будущей защитной одежды и изделий целесообразно на этапе выбора сырья. С одной стороны, это сокращает количество технологических операций, а с другой – удешевляет процесс разработки и исследований.

В ряде случаев бывает очень сложно заложить в один вид сырья сразу несколько полезных свойств, поэтому возникает необходимость в разработке новых универсальных вариантов путем комбинирования двух и более материалов.

При создании специальной одежды и средств защиты для пожарных, металлургов, спасателей, военнослужащих и т.д. чаще всего используют пара- или метаарамиды, обладающие рядом уникальных свойств. Однако параарамиды плохо поддаются окрашиванию и имеют высокую стоимость, тогда как метаарамиды на фоне хорошей окрашиваемости и невысокой цены оказываются непрочными. В связи с этим наиболее оптимальным вариантом является комбинирование этих двух классов материалов.

Цель исследования: разработка структуры и технологии неоднородных нитей со свойствами, обеспечивающими успешную дальнейшую переработку в ткань, а также обладающих высокой прочностью, термо- и огнестойкостью,

устойчивостью к действию химических реагентов, легко поддающихся операциям отделки и крашения.

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

- разработана новая теория прочности комбинированных нитей, основанная на современных теориях разрушения в механике деформируемого твердого тела;
- на основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити; проведен расчет натяжения, определяющего структуру комбинированных нитей;
- методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити; дан корректный способ определения жесткости при изгибе, проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей;
- проведен анализ сырья, используемого при получении тканей технического назначения, главным образом для создания защитной одежды и изделий для работников опасных профессий (пожарных, спасателей, металлургов, военнослужащих и др.);
- рассмотрены и проанализированы существующие технологии для получения комбинированных нитей;
- показана целесообразность использования комплексных нитей Русар-С в качестве основы для выработки неоднородных нитей и пряжи из волокон Арселон-С в качестве дополнительного компонента, схожего по эксплуатационным характеристикам и компенсирующего недостатки нитей Русар-С;
- разработана структура неоднородной нити, в соответствии с которой стержневая нить Русар-С обкручивается арселоновой пряжей в двух противоположных направлениях;
- наработаны опытные образцы трех ассортиментных позиций неоднородных нитей в соответствии с пятью вариантами числа обкручиваний;
- проведено исследование исходных компонентов и готовых неоднородных нитей (трех ассортиментных позиций) с целью оценки их основных свойств;

- выбраны оптимальные технологические параметры получения неоднородных нитей в соответствии с выявленными зависимостями их основных характеристик от числа обкручиваний;
- разработана программа для расчета площади поверхности стержневой нити, закрытой обкручивающим компонентом, которая позволяет прогнозировать качество окрашивания готовых нитей.

Методы исследования. Задачи, поставленные в работе, решены экспериментальными и теоретическими методами. Нарботка образцов выполнена на обкруточной машине Menegatto 1500/270/2003NG (Италия), установленной в ООО «ЮнайТекс» (г. Новомосковск Тульской обл.). Одна из ассортиментных позиций неоднородных нитей получена на опытном стенде обкруточной машины в учебно-технологической лаборатории ФГБОУ ВПО «МГУДТ». Нарботка опытной партии с целью переработки в ткань осуществлена на машине Menegatto 1500/270/2003NG, установленной в ЗАО «Клинское производственное текстильно-галантерейное объединение» (г. Клин Московской обл.). Образцы тканых лент наработаны на ткацком ленточном бесчелночном станке (ТЛБ), установленном в ООО «Техноткани» (Москва).

В ходе исследования механических и эксплуатационных характеристик неоднородных нитей использованы методики, описанные в соответствующих ГОСТах. Результаты проведенных испытаний обработаны методами математической статистики с помощью программ MS Excel и MathCAD. Программа для расчета площади покрытия поверхности стержневой составляющей комбинированной нити обкручивающим компонентом, которая дает представление о возможности ее окрашивания, написана на языке C++.

Научная новизна:

- разработана новая теория прочности неоднородной обкрученной нити с учетом механизма разрушения как отдельных ее компонентов, так и нити в целом, основанная на концепции наислабейшего звена в современных теориях механики деформируемого твердого тела;

- предложена гипотеза о блокировке слабых мест внутри нити при увеличении контактной нагрузки, в соответствии с которой прочность комбинированной нити носит экстремальный характер;
- разработана оптимальная в смысле успешной дальнейшей переработки структура неоднородной комбинированной нити;
- на основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити;
- проведен расчет натяжения, определяющего структуру комбинированных нитей с прямолинейным расположением внутреннего компонента;
- методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити;
- дан корректный, отличающийся от всех известных, способ определения жесткости при изгибе;
- проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей; получены численные значения жесткости нити при изгибе, необходимые для проектирования ткани и трикотажа;
- разработана теория вычисления площади поверхности стержневой нити, закрытой обкручивающим компонентом; дан расчет свободной поверхности центрального компонента.

Практическая значимость заключается:

- в разработке и реализации технологии комбинированной нити с внутренним прямолинейным сердечником и двумя оплеточными компонентами; определении геометрических, скоростных и силовых факторов, обеспечивающих формирование неоднородной комбинированной нити с заданными свойствами;
- в разработке структуры и определении оптимальных технологических параметров выработки неоднородных обкрученных нитей, состоящих из комплексных нитей Русар-С и арселоновой пряжи, обкручивающей указанные нити в двух противоположных направлениях;

- в получении неоднородных нитей, обладающих высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками и восприимчивых к процессам отделки и крашения, а также имеющих низкий показатель неравновесности, улучшающий ее переработку в ткань;
- в создании компьютерной программы, позволяющей оценить распределение обкручивающего компонента комбинированной нити по поверхности стержневого компонента, что впоследствии дает возможность прогнозировать качество окрашивания готовых нитей и изделий из них. Получено свидетельство о государственной регистрации № 2014614489 от 25.04.2014.

Реализация результатов работы проведена в ООО «Техноткани» (Москва), где полученные неоднородные нити были переработаны в тканые ленты (шириной 20 см) на ткацком ленточном бесчелночном станке (ТЛБ), после чего – окрашены в зеленый цвет и подвержены испытаниям на светостойкость в ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» (Москва). Результаты позволяют рекомендовать исследуемые нити для производства тканей, предназначенных для пошива защитной одежды.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и получили положительную оценку на:

- 63-ей межвузовской научно-технической конференции «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству», Кострома, КГТУ, 2011;
- всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновация молодежной науки», Санкт-Петербург, СПГТУД, 2011;
- научно-практической конференции аспирантов университета на иностранных языках, Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2011;
- международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ – 2011), Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2011;

- всероссийской научно-технической конференции «Современные тенденции развития информационных технологий в текстильной науке и практике», Димитровград, ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные проблемы развития текстильной и легкой промышленности», Москва, МГУТУ им. К.Г. Разумовского, 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (ПРОГРЕСС – 2012), Иваново, ИГТА, 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ–2012), Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии» (ПРОГРЕСС – 2013), Иваново, ИГТА, 2013;
- международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности», Москва, ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2013.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 статей – в зарубежном издании «Fibre Chemistry»; подана заявка на патент РФ на изобретение; зарегистрирована программа для ЭВМ; представлено 10 докладов на научных конференциях.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 4 глав с выводами, общих выводов по диссертационной работе, библиографического списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 161 странице машинописного текста, содержит 59 рисунков, 27 таблиц; библиографический список использованных литературных источников включает 98 наименований. Приложения представлены на 35 страницах.

ГЛАВА 1. ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЗАЩИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ.
РАССМОТРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АРМИРОВАННЫХ НИТЕЙ.
АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НИТЕЙ

1.1. Актуальность задачи получения
защитных материалов с универсальными свойствами

Одной из важнейших задач в социально-экономической сфере любого государства является обеспечение здоровых и безопасных условий труда. Не решив этой задачи, невозможно требовать от работника эффективного выполнения его функциональных обязанностей. [1]

Среди технических средств обеспечения безопасных условий труда для работников опасных профессий (военнослужащих, сотрудников МЧС, пожарных, спасателей и т.д.) доминирующую роль играет специальная защитная одежда, являющаяся последним барьером, который способен сохранить жизнь и здоровье людей. Поэтому для пошива такой одежды должны подбираться материалы, отвечающие самым высоким требованиям для конкретного назначения. Таким образом, одним из главных вопросов, решаемых при создании защитной одежды, является правильный выбор тканей для каждого вида одежды на основании учета поражающих факторов. [1; 2; 3]

Применяемые материалы и места соединений деталей одежды (для пожарных, спасателей и сотрудников МЧС) должны обладать высокой прочностью, устойчивостью к истиранию, многократным изгибам, растяжению/сжатию, термическим воздействиям, светопогоде, агрессивным средам. В то же время внутренний слой одежды должен быть воздухопроницаемым и гигроскопичным. Материалы наружного слоя соответствующих типов одежды должны относиться к классу трудно воспламеняемых по ГОСТ 12104-84. Пакет материалов должен обеспечивать свободное облевание одеждой тела человека. Применяемые материалы должны

быть устойчивы к гниению, плесени, коррозии во всех климатических зонах, сохранять первоначальную окраску наружных слоев. [3; 4]

Сотрудники МЧС выделяют следующие показатели качества защитной одежды согласно приоритету:

- поверхностная плотность материала;
- стойкость на разрыв;
- стойкость на раздир;
- стойкость к истиранию по плоскости;
- стойкость к истиранию по сгибам;
- воздухопроницаемость;
- гигроскопичность;
- жесткость;
- сохраняемость размеров после влажностно-тепловой обработки;
- устойчивость окраски к светопогоде и химическим реактивам. [3]

Помимо указанных, наиболее общими требованиями, предъявляемыми к защитной одежде всех типов, считаются:

- подбор таких тканей или их сочетаний, которые обеспечивают возможность удаления продуктов метаболизма (пот, испарина) из пододежного пространства с одновременным исключением прохождения влаги снаружи внутрь;
- сочетание свободного кроя, обеспечивающего широкие махи ногами и руками (а также возможность “сесть на шпагат”), с хорошим облеганием фигуры (возможность частичной регулировки изделия на конкретной фигуре). [3; 4]

Развитие системы качества специальной защитной одежды, разработка высокоэффективных защитных материалов и тканей в значительной степени определяются достижениями в области текстильного и полимерного материаловедения, совершенствования теоретических и экспериментальных моделей исследований и методов конструирования спецодежды. [1]

Учитывая сложность и многогранность проблемы обеспечения защитных свойств текстильных материалов без потери ими функциональных качеств и

ценовой доступности для широкого применения, представляется актуальной задача разработки новых видов сырья для защитных изделий с учетом их практического предназначения. [5]

1.2. Обзор сырья, используемого при производстве защитных изделий

С начала 70-х годов прошлого века для получения защитных изделий широко используются материалы из параарамидных волокон и нитей (Кевлар (США), Тварон (Нидерланды), Технора (Япония), Русар, Арамид, СВМ (Россия)). Это обусловлено их высокими термо- и огнестойкостью, прочностью, малым удлинением, устойчивостью к истирающим нагрузкам и другими улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. [6]

Впервые параарамидное волокно было получено в 60-х годах прошлого столетия в лаборатории химического гиганта DuPont. Коммерческим вариантом изобретения стало волокно Кевлар (на рынке появилось в 1971 году), которое в пять раз прочнее, чем сталь, но по плотности в половину меньше, чем стекловолокно. [7]

Несколько позже, но совершенно независимо, аналогичное волокно было получено в СССР во ВНИИ искусственного волокна (прежнее название института). Развитие таких областей современной техники, как авиа- и ракетостроение, освоение космического пространства в конце 50-х годов выдвинуло чрезвычайно актуальную задачу создания термо- и огнестойких волокон, способных сохранять необходимый комплекс свойств при температуре 200-350 °С и выше. [8; 9]

Неожиданно оказалось, что на основе ароматических полимеров могут быть получены не только термостойкие, но и более важные для технического использования высокопрочные высокомодульные волокна, прочность которых в 2-3 раза, а модуль упругости в 10-20 раз больше, чем у самых прочных синтетических кордных нитей. Первым таким материалом явилось оригинальное

волокно на основе гетероциклического ароматического полиамида ВНИИВлон, названное так по наименованию института, а позже переименованное в СВМ. [8; 10]

К высокопрочным, применимым в производстве защитной одежды, волокнам и нитям относятся: Спектра, Дайнема, Текмилон (полиэтиленовые), Винол МВМ (поливинилспиртовое), Терлон, Армалон, Кевлар, Тварон, Технора (параарамидные), СВМ, ВНИИВлон, Армос, Русар (параарамидные с гетероциклами в цепи), Вектран, Эконол (параароматические полиэфирные), углеродные волокна (на базе полиакрилонитрила). Ароматические высокопрочные высокомодульные волокна являются также термо- и огнестойкими (параарамидные, параполиэфирные): они были открыты в процессе изобретения термостойких волокон. [11]

Существуют также метаарамидные волокна, которые, не обладая высокой прочностью, являются термо- и огнестойкими. К ним относятся: Фторлон, Фенилон, Номекс, Конекс (арамидные), Кермель (полиамидоимидные), Аримид, Кептон, Р-84 (полиимидные), ПБИ (полибензимидазольные) БББ, Лола (лестничные), Полифен, Тойофлон, Торетекс (политетрафторэтиленовые), Арселон (полиоксидазольные).

Наибольшее распространение среди высокопрочных нитей ароматической природы получили доступные по сырью параарамидные волокна и нити Кевлар и Тварон (среди отечественных – СВМ, Армос, Русар-С), а среди термостойких – метаарамидные волокна Номекс и Конекс (среди отечественных – Арселон). [11]

Уникальные свойства арамидных волокон и нитей обусловлены химическим строением и особенностями способов их получения.

Прочность как основное преимущество достигает внушительных величин:

- СВМ (Россия) – 200-250 сН/текс;
- ВНИИВлон (Россия) – 180-230 сН/текс;
- Русар, Армос (Россия) – 230-270 сН/текс;
- Кевлар (США) – 200-225 сН/текс;
- Тварон (Нидерланды) – 50-240 сН/текс;

– Технора (Япония) – 50-240 сН/текс.

Существует ряд основных требований к структуре ориентированных полимерных материалов, в том числе волокон и нитей, для достижения максимального уровня механических свойств [9; 12; 13; 14; 15]:

- максимально возможная энергия всех химических связей и отсутствие слабых связей;
- максимальное приближение направления химических связей к направлению оси молекулярной цепи;
- высокая степень ориентационной упорядоченности, а соответственно минимальная неоднородность цепей, в том числе в наиболее плотноупакованных (аморфных) областях структуры, и, следовательно, высокая доля проходных и держащих нагрузку молекулярных цепей;
- вытянутая конфигурация элементарных звеньев и конформации молекулярных цепей;
- отсутствие в цепях боковых заместителей и минимальное поперечное сечение макромолекул, а значит, максимальное число молекулярных цепей на единицу сечения волокна;
- минимальное различие в слоевой структуре волокон;
- минимальная дефектность структуры на всех уровнях.

Для получения высокопрочных комплексных нитей важно отсутствие неоднородности составляющих их элементарных нитей. Это обеспечивает одновременность их нагружения и максимальную реализацию механических свойств в однонаправленных текстильных структурах. [9; 16]

Термостойкость арамидных волокон и нитей, являясь не менее значимой характеристикой, превышает 300 °С. В то же время природные волокна и химические волокна органического происхождения, вырабатываемые в промышленном масштабе, не могут эксплуатироваться при температуре выше 150-170 °С. [8]

К теплостойким относятся волокна, сохраняющие не менее 50 % исходной прочности при температуре испытания 300 °С, а к особо теплостойким – не менее 75-80 % прочности. Наибольшей теплостойкостью и термостойкостью обладают волокна из полимеров полулестничной и лестничной структуры. Их температура эксплуатации составляет 400-450 °С, а температура разложения – 500-600 °С и выше.

Следует особо выделить такое свойство, как горючесть, выразив ее через кислородный индекс:

- Фторлон (Россия) – 60;
- СВМ, Русар (Россия) – 30-32;
- Кевлар (США) – 26;
- Терлон, Армалон (Россия) – 29-30;
- Аримид (Аримид Т) – 48-50;
- Оксалон, Арселон – 28-30 (после обработки 30-35);
- Фенилон – 27-28 (после обработки 30-37);
- Номекс (США) – 25-28;
- Конекс (Япония) – 26-30. [11]

Высокий уровень термических свойств волокон и нитей обеспечивают следующие структурные показатели [9; 16]:

- высокая энергия всех химических связей в молекулярных цепях и отсутствие связей с малой энергией диссоциации, а значит, отсутствие или минимальное содержание дефектных структурных звеньев;
- максимальное содержание ароматических фрагментов в молекулярных цепях, особенно наличие гетероциклических фрагментов;
- высокая собственная жесткость молекулярных цепей и наличие полярных функциональных групп, обуславливающих сильное межмолекулярное взаимодействие, что предопределяет высокую температуру стеклования.

Всем указанным выше критериям соответствуют параполиамиды (параарамиды), на основе которых созданы термостойкие, высокопрочные

высокомодульные волокна и нити, в частности отечественные нити Русар-С (выпускаемые в настоящее время под торговой маркой Руслан).

Помимо вышеизложенного, арамидные волокна и нити обладают рядом других положительных свойств таких, как малое разрывное удлинение (характерно для параарамидов), высокий модуль упругости при растяжении, устойчивость к многократным изгибам, устойчивость к жесткому излучению, устойчивость к действию химических реагентов.

Изучение комплекса упруго-прочностных свойств предельноориентированных арамидных волокон, их структурных особенностей и характера разрушения позволило предопределить высокую эффективность их использования в качестве энергопоглощающих материалов различного назначения:

- конструкционные материалы с высоким уровнем демпфирующих свойств (СВМ, Армос, Кевлар, Тварон, Терлон), способные длительно выдерживать интенсивные вибрационные и акустические нагрузки (элементы конструкций несущих и декоративных деталей летательных аппаратов; масса конструкционного материала уменьшается на 30 % по сравнению со стекловолокном и на 50 % по сравнению с алюминиевыми сплавами);
- конструкционные материалы для экранирующих устройств авиационных двигателей, выдерживающих высокоэнергетическое механическое воздействие с кинетической энергией 30-50 кДж/м² (удержание в аварийных случаях осколков лопаток вентиляторов или фрагментов маховиков массой до 8 кг при скорости 300-400 м/с);
- материалы в составе комбинированной мягкой брони, способные сопротивляться динамическому воздействию высокоскоростного баллистического удара (элементы броневой защиты техники и индивидуальной броневой защиты). [9; 11; 17; 18]

Высокопрочные волокна и нити находят широкое применение и в других областях современной техники:

- легкие композиционные материалы: автомобилестроение, авиация, ракетостроение, станкостроение, судостроение, дорожное, сельскохозяйственное и химическое машиностроение (шаровые шарниры подвески передних колес, шарниры тяг рулевого управления, крестовины карданных валов – работают без смазки и рассчитаны на весь срок службы);
- комплексные нити из СВМ, Кевлара, Терлона в комбинации с графитовыми, борными, стеклянными волокнами используют в производстве высокопрочных канатов (тросов, веревок, шнуров и т.п.), кабелей, обтекателей антенн, напорных емкостей, спортивного инвентаря, высокоскоростных маховиков, пуленепробиваемых жилетов;
- изготовление шинного корда (армирование резинотехнических изделий (Кевлар, СВМ, Терлон) обеспечивает стабильность размеров и стойкость к высоким температурам). Недостатком арамидного корда является его низкая адгезия к резине. Для устранения данного недостатка корд пропитывают специальными составами, содержащими эпоксидные или резерцинформальдегидные смолы (при этом адгезия к резине возрастает более чем в 2 раза);
- армирование кабелей волоконной оптики;
- изготовление парашютов (СВМ, Армос);
- электроизоляция (СВМ, Армос). [11; 16; 19]

Термостойкие волокна, характеризующиеся обычной для синтетических волокон прочностью, чаще всего вырабатываются в виде штапельных волокон текстильного назначения для изготовления:

- защитной одежды для работы в условиях воздействия тепла и огня. Применяется такая защитная одежда в химической, нефтяной, металлургической промышленности; пожарными, автогазосварщиками, персоналом космодромов, космонавтами (Оксалон, СВМ, Терлон, Фенилон, Аримид);
- защитных перчаток для электроламповой промышленности, металлургической и электросварки, для горячих цехов (Оксалон, Терлон);

- фильтровальных материалов: в цветной металлургии; в производстве сажи, цемента; очистки газов доменных печей и мартеновских производств (не требуется охлаждения газов перед фильтрацией, срок службы фильтров выше) (Арселон, СВМ, Армалон, Фенилон, Аримид);
- бумаги, незаменимой в электро- и теплоизоляции в двигателях электровозов, конденсаторах, изделиях электротехнической промышленности (Фенилон, Номекс);
- сеток бумагоделательных машин;
- чехлов гладильных прессов.

Для отделки интерьеров общественных зданий (гостиницы, школы, концертные залы) используются ткани из номекса, фенилона (материалы негорючие, продукты их разложения относительно безвредные). [11; 16; 19]

Подробное описание выбранного из класса арамидов сырья для получения проектируемой нити и обоснование его использования будет приведено в разделе 2.1.

1.3. Проблема эффективного использования

параарамидных материалов применительно к защитным изделиям

При изготовлении защитных изделий производитель сталкивается с проблемой окрашивания материалов из параарамидных волокон (нитей), поскольку данный класс сырья не поддается окрашиванию широко известными красителями. Таким образом, возникает выбор: либо использовать в качестве внешнего слоя ткань с неизменным цветом самого полимера, либо дополнительно нашивать слой ткани, легко воспринимающей окраску и печать.

В первом случае (внешний слой ткани такого же цвета, как сам полимер) отсутствует эффект маскировки, что заранее исключено для военнослужащих, поскольку для их формы лучше всего подходит рисунок «камуфляж». Также это вряд ли может быть использовано для работников опасных профессий, где форма должна иметь конкретный стандартизованный цвет. К тому же немаловажен

эстетический эффект, которого можно достичь только при помощи химической отделки.

Во втором случае (внешний слой – нашитый слой из хорошо окрашиваемой ткани) возникают проблемы, связанные с дополнительными технологическими операциями и финансовыми затратами. Кроме того, внешний слой из хорошо окрашиваемой ткани может заведомо не отвечать требованиям назначения изделий, т.е. быть недостаточно прочным или неспособным сопротивляться воздействию высоких температур. Из этого следует, что такая защитная одежда и изделия не подойдут военнослужащим, сотрудникам МЧС и др., потому как внешний слой должен обладать высокой прочностью на раздир, истирание, а также – в случае баллистической опасности – являться отчасти сдерживающим фактором при попадании пули или осколков снарядов.

Для того чтобы приумножить достоинства и минимизировать недостатки двух вышеуказанных вариантов, возникает необходимость комбинирования параарамидных волокон (нитей) с другими материалами. При этом важно, чтобы компоненты комбинации обладали схожими эксплуатационными характеристиками.

Условно можно выделить следующие варианты комбинирования:

- использование смесок из двух или более видов волокон в разных массовых соотношениях;
- использование системы стержень-оплетка, где в качестве стержня применяется комплексная нить, а в качестве оплетки – волокна;
- использование системы стержень-оплетка, где в качестве стержня применяется комплексная нить, а в качестве оплетки – пряжа, либо другая нить;
- использование скрученных между собой комплексных нитей (пряж), либо комплексной нити и пряжи.

Согласно принятой материаловедцами классификации комбинированные нити могут быть однородными и неоднородными; и те, и другие, в свою очередь, делятся на простые комбинированные, фасонные и армированные. Таким

образом, для получения комбинированных нитей применяются разные технологии.

Для производства изделий выбранного назначения целесообразно вырабатывать армированные (они же стержневые) нити, которые получают путем соединения и скручивания различных по свойствам химических нитей (нити и пряжи, двух пряж) или путем обвивания химических нитей волокнами (нитями, пряжей) различных видов. Армированные нити приобретают своеобразный внешний вид и отличаются рядом полезных эксплуатационных свойств. [20] Подробнее об армированных нитях и технологии их получения будет написано в следующем разделе.

Однако, останавливаясь на комбинированных нитях, важно отметить, что готовая нить должна быть равновесной, в противном случае ткань (или трикотажное полотно) с большой долей вероятности может оказаться неформоустойчивой. Поэтому при выборе способа получения комбинированной нити следует отдать предпочтение не скрученным, а обкрученным нитям.

1.4. Рассмотрение технологий получения армированных нитей

Производство различных армированных текстильных нитей не является новым; к нему обращаются в тех случаях, когда требуется получить нити с какими-либо новыми физико-механическими свойствами.

Конструкции и свойства существующих армированных или двухслойных текстильных нитей разнообразны. В отличие от обычной пряжи, получающейся в один прием из ровницы на прядильных машинах и состоящей целиком из одного волокнистого материала или различных волокнистых материалов, равномерно распределенных по всему объему пряжи, армированные нити изготавливают в два приема: сначала тем или иным путем изготавливают сердечник, а затем и армированную нить, нанося на этот сердечник различными способами наружный слой. В текстильной промышленности общеизвестны следующие методы получения армированных нитей. [21]

I. Винтообразное, сплошное обвивание сердечников гибкими нитями. По этому методу могут быть получены следующие нити:

А) Сердечник – резиновая нить; наружный слой – хлопчатобумажная, шерстяная, шелковая или какая-либо другая пряжа или нить. В такой армированной нити (ластексе) сочетается красивый внешний вид с большой упругостью. Тонкие нити ластекса используют в ткацком производстве для изготовления различных видов резиновой тесьмы.

Б) Сердечник – тонкая металлическая проволока; наружный слой – асбестовая пряжа. Полученная армированная нить негорюча, как чистый асбест, но в то же время отличается от чисто асбестовой нити значительной прочностью. От металлической проволоки армированная нить отличается мягкостью. Из армированных нитей можно вырабатывать сравнительно мягкую застилистую ткань, используемую для теплоизоляции, уплотнений, прокладок, негорючей спецодежды и пр.

В) Сердечник – хлопковая или льняная пряжа; наружный слой – тонкие разноцветные шелковые нити, которые полностью закрывают сердечник. Полученная парчевая пряжа обладает красивым внешним видом. Несмотря на значительную толщину этой пряжи на ее изготовление расходуют сравнительно небольшое количество шелковых нитей. Из парчевой пряжи вырабатывают различные декоративные узорчатые ткани, необходимые для отделки и изготовления театральных костюмов, декораций и пр.

Г) Сердечник – хлопчатобумажная или какая-либо другая пряжа; наружный слой – канитель или плющенко. Нити при красивом внешнем виде и значительной толщине отличаются мягкостью, несвойственной металлам. Из таких нитей вырабатывают позументы, галуны, парчу, кисти, шнуры и т.д.

Д) Сердечник – проволока; наружный слой – бумажная пряжа или бумажная лента. Изделие при значительной прочности на разрыв обладает мягкой наружной поверхностью и применяется в садоводстве и огородничестве для подвязки растений. Наружный слой не только предохраняет ветви и ствол растений от перетирания проволокой, но и предохраняет последнюю от ржавчины. [21]

Этими примерами не исчерпываются все практически применяемые комбинации различных сердечников и нитей внешнего слоя, но и приведенных примеров достаточно, чтобы иметь представление о недостатках и достоинствах армированных нитей этой разновидности. Такие нити вырабатывают на различных обматывающих машинах, оборудованных специальными веретенами.

Если наружный слой образуется одной тонкой нитью, например плющенкой, то армированную нить можно вырабатывать на обматывающей машине, схема которой приведена на рисунке 1.1.

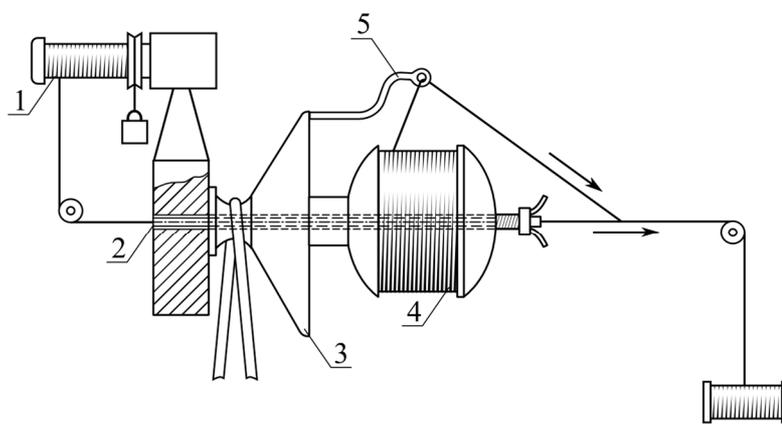


Рисунок 1.1 – Схема обматывающей машины [21]

Сердечник с катушки 1 сматывается с некоторым натяжением, величину которого можно изменять. Пройдя через осевой канал трубки 2, на которой свободно сидят блок 3 и катушка 4 с плющенкой, сердечник обматывается плющенкой. Обматывание происходит вследствие того, что катушка 4 быстро вращается вокруг трубки 2 блоком 3, несущим отводной крючок 5, и плющенка, проходя отводной крючок, легко сматывается и обвивает сердечник в виде крутой или отлогой спирали.

Для сматывания плющенки с катушки 4 необходимо, чтобы последняя вращалась несколько медленнее отводного крючка 5. Катушка всегда вращается медленнее отводного крючка (отстает), так как она получает движение от блока 3 фрикционным способом. Величину этого отставания и необходимую

плотность обвивания сердечника (в радиальном направлении) регулируют, изменяя нормальное давление между фланцем катушки и блочком.

Метод образования армированных нитей путем сплошного обвивания сердечника другой нитью или несколькими нитями имеет ряд достоинств и ряд недостатков.

К достоинствам следует отнести возможность, хотя и довольно ограниченную, получения нитей с такими свойствами, которые в однослойной пряже не могут сочетаться. Из рассмотренных выше примеров видно, что в армированных нитях этой разновидности красивый внешний вид сочетается с какими-либо другими свойствами; например, красота шелка нитей ластекса с их большими упругими удлинениями; красота золотистых и серебристых нитей с высокой гибкостью и небольшой стоимостью; красота различно окрашенного шелка в парчевой пряже при малой ее стоимости и низком общем номере пряжи; несгораемость нитей с проволочным сердечником и наружным слоем из асбеста с мягкостью и застилистостью и т.д.

Достоинством этого метода создания армированных нитей является также простота как технологического процесса, так и конструкции машин, на которых обматывается сердечник.

Приведенный метод имеет следующие недостатки:

1. Весьма ограниченную область применения этих армированных нитей, которые используют в основном как специфические декоративные материалы. В этих нитях ограниченно комбинируются в новых сочетаниях физико-механические свойства компонентов.

2. При сплошном обвивании сердечника нить наружного слоя не несет осевой нагрузки и не может непосредственно увеличить прочность армированной нити, как бы ни была велика прочность нити наружного слоя.

3. Если сердечник обвивается одной нитью, то при разрыве ее в одном каком-либо месте все витки наружного слоя могут легко отделиться от сердечника.

4. Только при применении шелковых нитей и тонкой плющенки или канители наружный слой получается достаточно плотным и тонким; при применении какой-либо пряжи слой получается сравнительно очень толстым. При этом расход волокнистого материала значителен. Чтобы его уменьшить, необходимо выбирать пряжу минимальной толщины, но это отрицательно скажется на производительности обматывающей машины.

5. Малая линейная производительность обматывающих машин. При сплошном обвивании сердечника за один оборот веретена сердечник должен подаваться на длину, равную диаметру нити наружного слоя. [21]

II. Плетение шнуров и канатов. Плетеные шнуры и канаты изготавливают на специальных машинах, на которых из пряжи образуется (плетется) наружный слой. Сердечник охватывается наружным слоем и при нагружении испытывает от него большие радиальные давления.

Основные положительные свойства этих армированных нитей – гибкость и равновесность при значительной прочности. Вследствие того что все нити наружного слоя, составляющие шнур или канат, находятся в совершенно одинаковых условиях, коэффициент использования прочности пряжи в этих нитях высокий.

Крупным недостатком плетеных изделий является их малая способность воспринимать динамические нагрузки, под влиянием которых эти изделия очень быстро достигают предельных удлинений и рвутся. [21]

III. Покрытие сердечниковых нитей различными веществами. В текстильной промышленности известны случаи, когда сердечник покрывают не пряжей или какими-либо другими нитями, а различными покрытиями. Например, известна пряжа, называемая контрластикс, в которой сердечником является хлопчатобумажная пряжа или нити искусственного шелка, а наружным слоем – пряжа и резина. Сердечник сначала обматывают пряжей, а затем покрывают слоем резины. Этот вид армированной нити обладает малым удлинением, большой прочностью и весьма эластичной поверхностью; употребляется для технических целей в ограниченных размерах. [21]

IV. Объединение сердечников с волокнистыми ленточками на ремешковом делителе. Иногда при образовании ровницы из очень коротких и малоцепких волокон (например, асбеста) на каждый делительный ремешок направляют пряжу-проводник, которая, ссучиваясь в сучильных рукавах вместе с волокнистой ленточкой, придает последней значительную прочность и снижает обрывность ровницы в делительной каретке. Полученную ровницу скручивают на крутильной машине, превращая в пряжу с сердечником.

В этом случае сердечник играет роль проводника, снижающего обрывность при получении ровницы и кручении пряжи, а также увеличивающего прочность ровницы и пряжи.

В пряже, полученной таким способом, проводник часто выходит на поверхность, поэтому называть его сердечником можно лишь условно. Число переходов в системе прядения при этом не изменяется. [21]

Комбинированную пряжу рассматриваемой структуры можно получить с помощью чесально-прядильного аппарата и прядильно-крутильной приставки с вытяжным прибором.

Получение пряжи на чесальном аппарате – технологический процесс, позволяющий изготовить пряжу, минуя процессы прядения на прядильной машине, а также трощение и кручение. Технологическая схема чесально-прядильного аппарата показана на рисунке 1.2, на котором ватка прочеса 2, снятая со съемного барабана выпускной чесальной машины, подводится транспортером 1 к делительному устройству 3. Деление ватки прочеса осуществляется ремешками 4 и делительными цилиндрами 5. Ремешки 4 разделяют прочес на узкие полоски и перемещают их к выпускным зонам. Зажим ленточек в выпускных зонах осуществляется между выпускными валами 6 и ремешками. На машине четыре выпускные зоны (яруса), каждая из которых состоит из пары главных валов, огибаемых ремешками. Крутильная часть приставки представляет собой веретенные брусья 8 с установленными на них веретенами для бобин 7 с комплексной нитью. Оттяжные механизмы 9 выводят скрученные нити и подают к мотальному механизму 10.

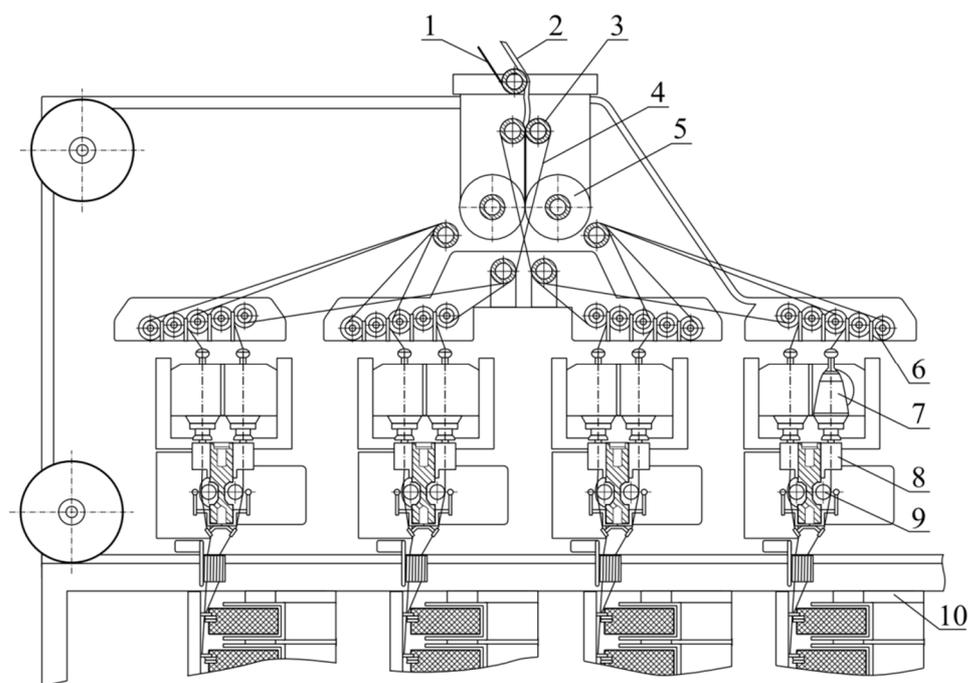


Рисунок 1.2 – Технологическая схема чесально-прядельного аппарата [22]

Мотальные механизмы размещены на двух мотальных рамках, которые в сборе с ними и образуют два блока. Мотальный механизм состоит из мотальных барабанчиков, мотальных рычагов и механизма раскладки готовой пряжи.

Привод рабочих органов машины осуществляется от чесального аппарата. Это сделано с целью согласования скоростей рабочих органов чесального аппарата и прядельно-крутильной приставки во время рабочего хода, разгона (при пуске) или выбега (при остановке агрегата). Обе части приставки – делительная и мотальная – жестко связаны между собой. [22]

Особенностью приставки с вытяжным прибором является то, что между чесальным аппаратом и веретенами установлен вытяжной прибор с целью получения аппаратной пряжи меньшей линейной плотности и применения процесса сложения. Питание приставки осуществляется сученой ровницей непосредственно с сучильных рукавов 1 (рисунок 1.3) чесального аппарата. Сученая ровница, соединяясь попарно, направляется к гребенному барабанчику 2 вытяжного прибора, где мычка утоняется до требуемой линейной плотности. По выходе из вытяжного прибора мычка поступает в канал полого веретена 4 с

насадкой 3, несущего бобину 5 с комплексной нитью. В этой зоне мычка скручивается с комплексной нитью, превращаясь в комбинированную пряжу. Из канала веретена пряжа отводится оттяжными валами 6. Каждая нить 7 направляется к мотальному механизму 8, где формируется цилиндрическая бобина 9. Привод приставки осуществляется от чесального аппарата цепной передачей.

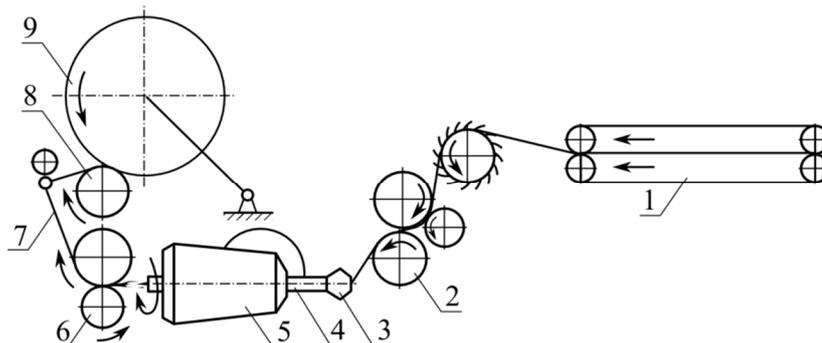


Рисунок 1.3 – Схема одного из четырех ярусов
прядельно-крутильной приставки [22]

Все детали узлов и механизмов приставки – типовые за исключением веретена, являющегося главным рабочим органом прядельно-крутильной приставки.

На крутильно-мотальной приставке устанавливаются полые со сквозным осевым каналом веретена, которые приводятся во вращение при помощи бесконечного ремня. Конструктивно веретено представляет собой неподвижный шпиндель, на цилиндрической части которого на подшипниках расположен корпус. На торце большого диаметра корпуса закреплен блок, с помощью которого веретено приводится во вращение. В цилиндрическую расточку корпуса в правой его части вставляется ограничитель с наконечником. Назначение ограничителя – предотвратить слеты бобины с комплексной нитью при больших скоростях веретен. На наконечник устанавливается насадка, предназначенная для создания необходимого натяжения нити. [22]

V. Обвивание сердечников нитью на прядильной машине (стержневые нити). В практике текстильного производства известен метод изготовления армированных нитей на прядильных машинах – «в прикрут», когда вместе с выходящей из выпускной пары вытяжного прибора волокнистой ленточкой – мычкой пропускается какая-либо нить. Волокнистая ленточка, закручиваясь вокруг собственной оси и превращаясь в пряжу, в то же время закручивается вместе с пропущенной нитью, в результате чего получается своеобразная армированная нить, по внешнему виду иногда напоминающая крученую пряжу и называемая каркасной пряжей.

Указанный способ имеет следующие недостатки:

1. Большую трудность в создании равенства натяжений в обеих скручиваемых компонентах (мычки и проводника), вследствие чего неизменно наблюдается в той или иной степени явление «штопора», т.е. обвивание одного компонента другим, и, как следствие, значительное снижение суммарной прочности пряжи.

2. Неполное скручивание мычки. При вращении всей пряжи мычка не будет закручиваться, а будет лишь обвиваться вокруг проводника, или совершенно не подвергаясь скручиванию, или получая число кручений, меньше ожидаемого. Чаще всего мычка в пряже представляет собой плоскую, мало скрученную ленточку.

То же самое можно наблюдать и в том случае, когда в вытяжную пару проводник и мычка входят не рядом, а на некотором расстоянии друг от друга. Один из компонентов будет лишь обматываться вокруг другого, имеющего большее натяжение, не получая крутки.

3. Необходимо провести полный цикл обработки волокнистого материала вплоть до получения мычки, причем толщина ровницы должна быть значительно меньше, чем толщина ровницы при работе без проводника. Изготовление ровницы небольшой толщины из труднопрядомого материала при обычном плане прядения и на обычном оборудовании является задачей нелегкой

и экономически не всегда целесообразной, если учесть, что конечный продукт получается большей толщины, чем толщина каждого компонента.

4. Полного закрытия одного компонента другим не происходит: оба лежат на поверхности, следовательно, изготовить из такой нити ткань с внешним видом, свойственным только волокнам наружного слоя, не удастся, что часто бывает необходимо.

5. Полученная пряжа неравновесна, причем крутка проводника близка к критической.

6. Обслуживание прядильной машины усложняется, и снижается норма обслуживания.

По существу и по назначению этот метод создания армированных нитей ничем не отличается от предыдущего, по которому сердечник ссучивался с волокнистой ленточкой на ремешковом делителе. [21] Ниже рассмотрен пример получения пряжи описанной структуры на кольцепрядильной машине.

Комплексная капроновая нить, сматываясь с бобины 2 (рисунок 1.4), огибает два направляющих прутка 1, проходит через натяжное устройство 3, нитепроводник 4, связанный с водилкой 6 для ровницы 5, и соединяется с вытянутой ровницей в передней вытяжной паре 7. По выходе из вытяжного прибора комплексная химическая нить и мычка из хлопковых волокон скручиваются и наматываются на паковку 8.

Комплексная капроновая нить, вводимая под переднюю вытяжную пару, может иметь левое и правое направления крутки. Комплексная нить является стержневой нитью и должна находиться посередине выходящей мычки, чтобы последняя равномерно покрывала ее поверхность. Скрученные комплексная капроновая нить и мычка образуют комбинированную пряжу. Для производства комбинированной пряжи на прядильной машине необходимы следующие дополнительные устройства:

- рамка для бобин с комплексной химической нитью;
- нитепроводник для направления комплексной химической нити;

- натяжное устройство, обеспечивающее постоянное натяжение комплексной химической нити;
- механический или электрический останов комплексной нити при обрыве мычки.

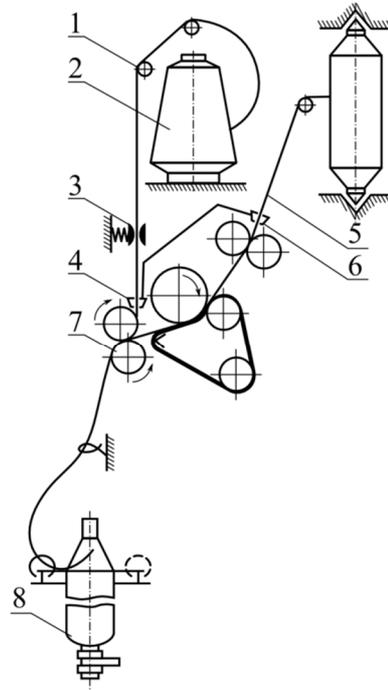


Рисунок 1.4 – Технологическая схема кольцепрядильной машины для получения хлопкокапроновой пряжи [22]

Натяжное устройство устанавливают на кронштейне перед водилкой для капроновой нити. Назначение его – обеспечить центральное положение нити относительно мычки, для чего капроновая нить должна находиться под постоянным определенным натяжением. Для останова капроновой нити при обрыве мычки устанавливают самоостанов механического или электрического принципа действия, закрепляемый на приклоне вытяжного прибора. [22]

Особый интерес представляет пряжа с эластичным сердечником, покрытым натуральными волокнами. Такую пряжу получают на кольцепрядильной машине путем ввода текстурированной высокоэластичной нити под переднюю вытяжную пару, на выходе из которой она скручивается с хлопковой мычкой, образуя

хлопкоэластичную пряжу. В полученной комбинированной пряже волокна мычки слабо связаны с элементарными капроновыми нитями, поэтому такую пряжу скручивают в два конца на крутильных машинах.

В данном непрерывном технологическом процессе получения хлопкокапроновой эластичной нити процессы прядения, текстурирования и вторичного кручения совмещены. На обычной кольцепрядильной машине вместо крутильно-мотального механизма устанавливается термокамера, механизм ложного кручения (МЛК) фрикционного типа и механизм второго кручения – кольцекрутильный механизм. Утонение ровницы можно производить в любом вытяжном приборе.

Принцип получения хлопкоэластичной нити заключается в следующем. Ровница 1 (рисунок 1.5) сматывается с катушки 2, проходит направляющий пруток, утоняется в вытяжном приборе 5 и из выпускной пары 6 выходит в виде некрученой волокнистой мычки. Капроновая комплексная нить 4, сматываясь с бобины 3, подводится под выпускную пару 6 и совместно с утоненной хлопковой мычкой скручивается с помощью крутильного механизма фрикционного типа. Затем комбинированная нить в скрученном состоянии проходит через термокамеру 7, в которой фиксируется крутка, полученная синтетической нитью. При выходе из вьюрков 8 нити раскручиваются, проходят нитепроводник 9, тростильные барабанчики 10, в которых соединяются две комбинированные нити, затем скручиваются крутильным механизмом и наматываются на катушку 11.

Применение данного способа получения нити дает возможность значительно повысить производительность труда, оборудования и качества получаемой нити.

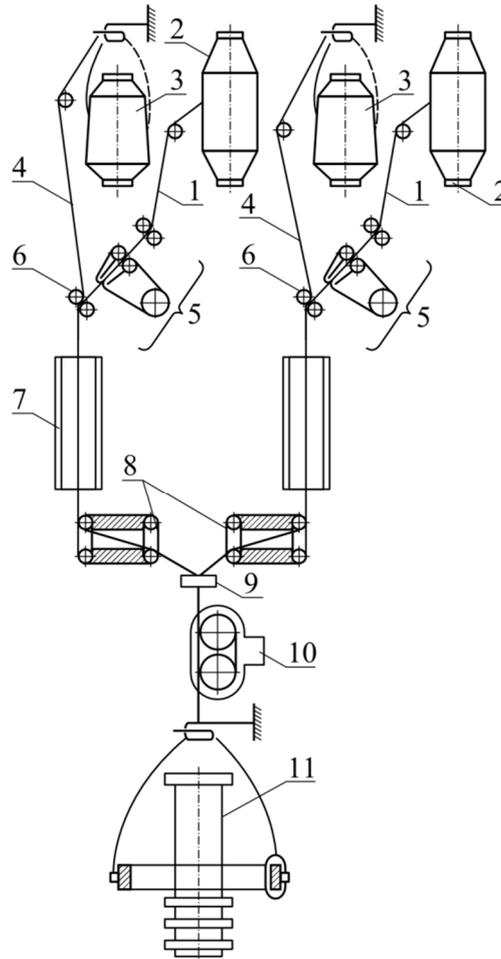


Рисунок 1.5 – Технологическая схема устройства
для получения хлопкокапроновой эластичной нити [22]

Нить, полученная по приведенной технологии, обладает высокой разрывной нагрузкой, объемностью, растяжимостью, гигиенические свойства ее улучшаются. Кроме того, снижение средней плотности нити значительно уменьшает затраты труда на единицу продукции. [22]

Помимо рассмотренных армированных нитей немалый интерес представляет двухкруточная комбинированная нить, при изготовлении которой совмещаются процессы прядения и кручения. Исходными продуктами являются хлопковая или шерстяная ровница и комплексная капроновая нить, а конечным продуктом – крученая нить. Получение крученой нити в один переход дает возможность увеличить производительность оборудования и снизить

себестоимость нити за счет сокращения технологического процесса и использования химических комплексных нитей.

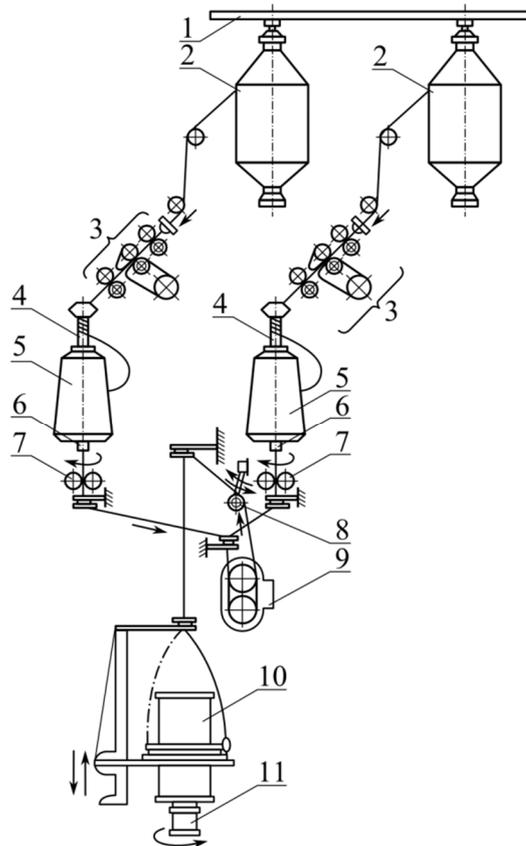


Рисунок 1.6 – Схема прядильно-крутильной машины для получения комбинированной двухкруточной нити [22]

Прядильно-крутильная машина для получения двухкруточной нити создана на базе машины ПК-100. Машина состоит из рамки 1 (рисунок 1.6) для катушек 2 с ровницей, вытяжного прибора 3, где ровница утоняется до требуемой линейной плотности. На полый шпиндель 4 крутильного веретена 6 насаживается бобина 5 с комплексной химической нитью, конец которой вместе с мычкой проходит через полое веретено и скручивается с ней. Скрученная мычка и комплексная химическая нить поступают в выпускную пару 7, а затем подаются на питающие цилиндры 9, где происходит страшивание двух нитей, выходящих из полых веретен. Питающие цилиндры обеспечивают трощение и постоянную подачу

нитей на приемное кольцекрутильное веретено 11, где они скручиваются, и готовые нити наматываются на приемную катушку 10. При сходе и обрыве одного из компонентов срабатывает датчик 8 и замыкает цепь электромагнита, который через систему механизмов отводит веретена от приводных ремней, и веретена останавливаются.

В результате данного процесса получается крученая нить, состоящая из двух стренг, каждая из которых представляет собой ровничную мычку, скрученную с комплексной химической нитью. [22]

VI. Обвивание сердечников волокном. Для изготовления армированных нитей любым рассмотренным методом как в качестве сердечника, так и в качестве наружного слоя используют пряжу, ровницу или нити, полученные тем или иным путем. Существуют также способы изготовления армированных нитей, наружный слой которых формируется непосредственно из волокон.

Первый способ – изготовление сердечниковой пряжи по способу Drury, которая может быть использована при производстве тканевых, плетеных и крученых изделий, нитей, веревок, канатных изделий и т.п.

Сердечниковая пряжа состоит из сердечника и наружной оболочки, которая равномерно скручивается вокруг скручиваемого сердечника таким образом, что оба эти элемента образуют одно целое. По внешнему виду такая пряжа похожа на одиночную пряжу.

При изготовлении сердечниковой пряжи катушку с сердечниковой нитью насаживают на расположенный в соответствующем месте шпиндель 1, на котором она может свободно вращаться (рисунок 1.7).

Далее нить проходит между соприкасающимися поверхностями скатывающего ремня 2. Нить к этому ремню движется с равномерной скоростью, обычно меньшей, чем скорость поверхности барабана 3, барабан 3 подводит к сердечниковой нити ватную полосу 4. По обе стороны полосы расположены глазки, которые направляют сердечниковую нить.

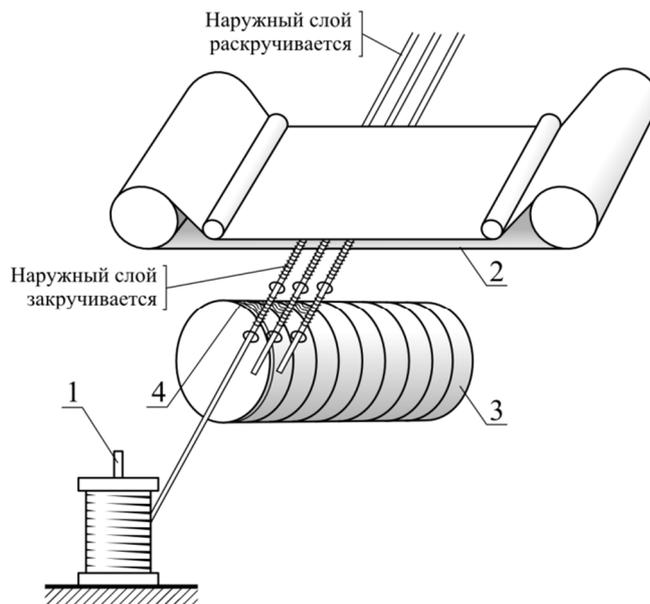


Рисунок 1.7 – Схема устройства для получения стержневой нити по способу Drury [21]

Та часть сердечниковой нити, которая в данный момент соприкасается с ватной полоской, приводится в очень быстрое вращательное движение вокруг своей оси скатывающим ремнем.

При этом на часть сердечниковой нити, соприкасающуюся с барабаном, наматывается волокнистое вещество. Волокнистое вещество равномерно облегает сердечник, образуя его наружную оболочку, которая, проходя между соприкасающимися поверхностями ремня, скручивается ими вокруг сердечниковой нити, которая сама при этом не скручивается. [21]

Второй способ – изготовление клеевой сердечниковой пряжи по способу Jonas. Беспрерывная нить покрывается липким составом, вследствие чего короткие штапельные волокна – кроличий пух и другие шерстяные волокна пристают и приклеиваются к липкой поверхности этой нити.

Нити 1 проходят между нагретыми вальцами 2, 3, и здесь к ним подводят короткие волокна через сопла 4 и 5. Излишнее количество волокон собирается ограничителем – щитком 6, от которого волокна отсасываются через трубку 7.

Охлаждение и затвердевание нитей, выходящих из вальцов, может быть ускорено при подаче холодного воздуха через сопло 8 (рисунок 1.8).

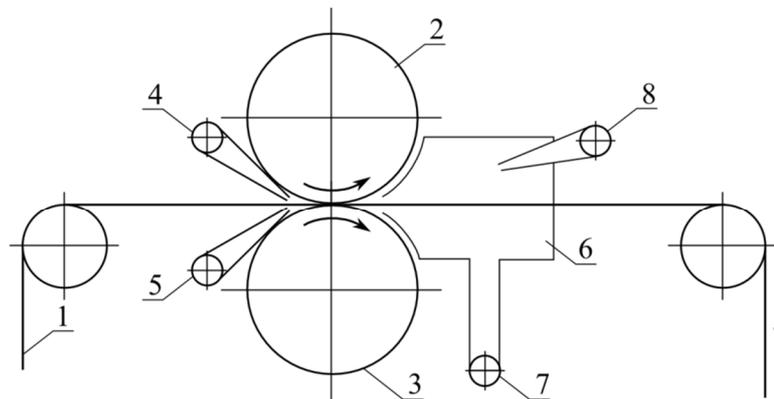


Рисунок 1.8 – Схема прядильно-крутильной машины для получения комбинированной двухкруточной нити [21]

Основываясь на описаниях, можно отметить принципиальные достоинства этих методов изготовления армированных нитей.

Во-первых, резко сокращается число переходов для подготовки волокон наружного слоя, так как в обоих случаях отпадает необходимость в ленточных, ровничных и прядильных машинах.

Во-вторых, имеется возможность использовать для наружного слоя короткие, труднопрядомые волокна.

В-третьих, в обоих случаях сердечник совпадает с осью армированной нити и может быть полностью закрыт волокнами.

Однако оба способа имеют крупные недостатки, препятствующие их практическому применению. Основным из них является явно недостаточная прочность прикрепления волокон к сердечнику. [21]

Помимо способов Drury и Ionas указанную структуру (сердечник, обвитый волокнами) можно получить на прядильно-армирующей машине ПА-76, предназначенной для выработки армированных нитей с наружным слоем из коротких волокон – хлопка, аппаратной шерсти, шерстяных волокон для гребенного прядения, гребенных шерстяных очесов и т.п.

Оборудование, предназначенное для получения нити выбранной в разделе 2.2 структуры, будет рассмотрено в разделе 2.3.

1.5. Анализ методов расчета прочности нитей различной структуры

Одной из основополагающих характеристик нитей является прочность. В случае с нитями, предназначенными для переработки в техническую ткань (в частности, для изготовления защитной одежды), показатель прочности имеет особое значение, поскольку от него напрямую зависят механические свойства конечного изделия. Таким образом, разработка теоретического метода расчета прочности нитей становится актуальной.

В ряде литературных источников приводятся теоретические, эмпирические и расчетно-эмпирические формулы для расчета прочности нитей [20; 23; 24]. Среди них справедливо выделить работы В.Т. Костицина [25], Г.В. Соколова [26; 27; 28], Д.В.С. Херла [29; 30; 31], В.С. Саймса [32], А. Кеворкяна [33], Л.Р.Г. Трелора [34], Г. Райдинга [35], М.Н. Белицина [36; 37], К.И. Корицкого [38], В.П. Щербакова [39; 40] и др., которые занимались проектированием прочности крученых и скрученных комплексных нитей.

В.Т. Костицин [20; 25] рассматривал комплексную нить, состоящую из n элементарных нитей, зажатых в плоскости, перпендикулярной оси кручения, повернутую одним концом на некоторый угол, одинаковый для всех нитей. Обозначив через γ угол подъема винтовой линии, по которой располагаются наружные нити на расстоянии R от оси кручения, а через угол γ_1 – угол подъема винтовой линии промежуточной элементарной нити, находящейся на расстоянии ρ от той же оси, а также учитывая относительное разрывное удлинение нити ε от дополнительных растягивающих усилий во время кручения, автор вывел уравнение, характеризующее растягивающее усилие для промежуточной элементарной нити. Учитывая, что нить состоит из m слоев и в каждом слое n

нитей, В.Т. Костицин вывел уравнение для определения суммарного усилия F_C , испытываемого нитью при кручении:

$$F_C = E \cdot S_H \cdot \sin \gamma \cdot (1 + \varepsilon) \cdot \sum_0^m n_i \cdot \left(1 - \frac{R \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}}{\rho_i^2 + (1 + \varepsilon)^3 \cdot R^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma} \right), \quad (1.1)$$

где E – модуль упругости;

S_H – площадь поперечного сечения.

Приведенное уравнение показывает, что с увеличением крутки, т.е. с уменьшением угла γ , разрывная нагрузка крученой нити снижается, что справедливо лишь для комплексных нитей, обладающих идеальной равномерностью свойств и идеальной структурой, что на практике не встречается.

Недостаток данного уравнения заключается в том, что в нем не учтены силы трения, возникающие между элементарными нитями в процессе их кручения. Кроме того, уравнение может быть применено только к одиночной нити.

Г.В. Соколов [23; 26; 27; 28] предложил формулу, с помощью которой можно рассчитать фактическую разрывную нагрузку нитей P , состоящих из непрерывных изотропных элементарных нитей, в зависимости от крутки K_0 :

$$P = P_T \cdot \cos \beta_{cp} = \frac{P_0 \cdot n}{\sqrt{\frac{1 + \pi^2 \cdot d^2 \cdot K_0^2}{(1 + \varepsilon)^3}}}, \quad (1.2)$$

где P_T – теоретическая разрывная нагрузка комплексной нити;

β_{cp} – средний угол винтовых линий к оси нити;

P_0 – разрывная нагрузка элементарной нити;

n – число элементарных нитей в поперечном сечении комплексной нити;

ε – относительное разрывное удлинение;

d – наружный диаметр нити.

Недостаток формулы (1.2) состоит в том, что в ней не отражено влияния неровноты элементарных нитей и комплексной нити, а также не учтены вид и состояние разрываемого материала. Кроме того, согласно этой формуле с увеличением крутки разрывная нагрузка нити уменьшается и принимает

наибольшее значение при отсутствии крутки (при $\beta_{cp} = 0$), что не находит соответствия опытным данным. [24]

В.С. Саймс [23; 32] предложил упрощенный метод расчета разрывной нагрузки кордной нити P_K . Все расчеты разрывной нагрузки кордной нити автор сделал, основываясь на понятии «среднего косинуса» угла наклона элементарных нитей, получаемого из соотношения суммарной линейной плотности всех исходных нитей и готовой кордной нити:

$$P_K = P_S \cdot \cos \left[(1 + \varepsilon_0)^{3/2} \cdot \arccos \frac{T_{t_0}}{T_{t_k}} \right], \quad (1.3)$$

где P_S – суммарная разрывная нагрузка всех составляющих нитей;

ε_0 – разрывное удлинение нити;

T_{t_0} – линейная плотность всех составляющих нитей, текс;

T_{t_k} – линейная плотность готовой нити, текс.

В случае предсказания разрывной нагрузки нейлоновой кордной нити, а также ее усадки при нагревании метод В.С. Саймса дал положительные результаты, однако для определения разрывного удлинения разработанная им теория не подтвердилась.

А.Кеворкян [20; 33], изучая процесс разрыва нитей при их растяжении, пришел к заключению, что при разложении сил, действующих на элементарные нити при разрыве крученых нитей, следует учитывать вид и состояние материала (анизотропность, степень фиксации крученой нити, время релаксации и т.д.), а также устойчивость элементарных нитей к нагрузкам в поперечном направлении.

Для практических расчетов А.Кеворкян рекомендует следующую формулу для нахождения разрывной нагрузки крученой нити:

$$P \leq \frac{P_T}{\sqrt{\cos^2 \beta - B \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta + B^2 \cdot \sin^2 \beta}}, \quad (1.4)$$

где P_T – теоретическая разрывная нагрузка комплексной нити;

β – угол наклона элементарных нитей к оси комплексной нити;

B – материальная константа, определяемая опытным путем в зависимости от вида нитей, их состояния, линейной плотности и ориентации макромолекул.

Д.В.С. Херл [23; 29; 30; 31] обобщил ранее полученные результаты в области исследования механизма разрыва комплексной нити и прогнозирования разрывных характеристик крученых нитей. Им была определена зависимость разрывной нагрузки комплексной нити от крутки с учетом сил, действующих в радиальных направлениях при следующем допущении: кривая растяжения в зоне разрыва нитей нулевой крутки может быть приблизительно выражена уравнением

$$\frac{X}{X_p} = a_0 + b_0 \cdot \varepsilon_0, \quad (1.5)$$

где X – относительное напряжение элементарной нити (или нити с нулевой круткой);

X_p – разрывное напряжение элементарной нити;

ε_0 – деформация элементарной нити;

a_0, b_0 – постоянные коэффициенты.

Д.В.С. Херл и его коллеги вывели формулу для расчета разрывного напряжения нити Y_p :

$$\frac{Y_p}{X_p} = a_f \cdot \frac{\ln \sec^2 \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} + b_f \cdot \varepsilon_p \cdot \left[(1 + \mu_H) \cdot \cos^2 \beta - \mu_H \cdot \frac{\ln \sec^2 \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right] - \frac{3}{4} \cdot b_f \cdot \varepsilon_p^2 \cdot (1 + \mu_H)^2 \cdot \sin^4 \beta, \quad (1.6)$$

где a_f и b_f – постоянные коэффициенты прямой, характеризующей конечный участок кривой растяжения;

ε_p – разрывное удлинение нити;

μ_H – константа нити, аналогичная коэффициенту Пуассона;

β – угол кручения.

Данная формула справедлива, если рассматривать изменение разрывной нагрузки крученой нити при средних и высоких значениях крутки. В то же время формула не отслеживает имеющего место повышения разрывной нагрузки нити в

диапазоне до критической крутки. Обусловлено это уплотнением элементарных нитей внутри комплексной и вместе с тем увеличением трения между ними, более равномерным распределением напряжений вследствие миграции нитей (наиболее жесткие перемещаются к центру крученной нити, а остальные, менее натянутые – к периферии), уменьшением зоны разрыва. [24]

С целью прогнозирования разрывных характеристик двухкруточных нитей Л.Р.Г. Трелор [23; 34] и Г. Райдинг [23; 35] применили энергетический метод. Они выявили зависимость относительной длины оси компонента после растяжения λ_K от соответствующей относительной длины λ_H (также в деформированном состоянии) исходя из геометрии двухкруточной нити. Затем на основе теории кручения нити сложной структуры определяется крутка, приходящаяся на единицу длины деформированного компонента. С учетом найденной крутки и удлинения компонента определяют зависимость относительной длины λ_0 элементарной нити, удаленной на величину радиуса r от оси компонента. Определив энергию деформирования компонента (при допущении, что элементарная нить является несжимаемой) и продифференцировав полученную зависимость, Л.Р.Г. Трелор вывел уравнение, позволяющее вычислить нагрузку компонента P_H , действующую в направлении оси общей нити

$$P_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot \nu}{\cos \gamma_0} \cdot \frac{d\lambda_K}{d\lambda_H} \cdot \int_0^R F(\lambda_0) \cdot \frac{\partial \lambda_0}{\partial \lambda_K} \cdot r_0 \cdot dr_0. \quad (1.7)$$

М.Н. Белицин [24; 36; 37] вывел формулы для практических расчетов разрывных характеристик однокруточных химических нитей, по которым определяется разрывная нагрузка P и удлинение ε комплексных нитей соответственно:

$$P = p \cdot n \cdot \eta_p \cdot K_{p\alpha}, \quad (1.8)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \eta_\varepsilon \cdot K_{\varepsilon\alpha}, \quad (1.9)$$

где p и ε_0 – разрывная нагрузка (Н) и удлинение (%) элементарной нити;

n – число элементарных нитей в комплексной нити;

η_p и η_ε – коэффициент использования соответственно разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных нитей при разрыве комплексной некрученной нити;

$K_{P\alpha}$, $K_{\varepsilon\alpha}$ – коэффициент изменения соответственно разрывной нагрузки и разрывного удлинения комплексной нити в зависимости от коэффициента крутки α .

Используя эмпирические формулы, М.Н. Белицин устанавливал коэффициенты η_p , η_ε , $K_{P\alpha}$, $K_{\varepsilon\alpha}$ для нитей различного происхождения.

Формулы М.Н. Белицина имеют существенный недостаток: входящие в них поправочные коэффициенты определяются только по эмпирическим формулам, составить которые можно лишь при наличии большого количества экспериментальных данных. В то же время его формулы допустимо использовать применительно к одиночным крученым нитям для приблизительных расчетов на производстве, а также при проведении научно-исследовательских работ.

К.И. Корицкий [23; 38] предложил формулу для расчета разрывной нагрузки P крученных комплексных нитей:

$$P = P_0 \cdot (1 + \mu \cdot \sin \beta_{cp} \cdot \cos \beta_{cp}) \cdot (1 - C \cdot \operatorname{tg}^2 \beta_1), \quad (1.10)$$

где P_0 – разрывная нагрузка некрученной комплексной нити;

μ – коэффициент трения между элементарными нитями (0,25-0,38);

β_{cp} – средний угол наклона винтовых линий к оси нити;

C – постоянный коэффициент;

β_1 – угол наклона элементарных нитей при растяжении комплексной нити.

$$\operatorname{tg} \beta_{cp} = 0,67 \cdot \pi dt, \quad (1.11)$$

где d – наружный диаметр нити;

t – фактическая крутка нити, приходящаяся на 1 мм.

$$d = 0,04 \cdot \sqrt{T_0}, \quad (1.12)$$

где T_0 – линейная плотность некрученной комплексной нити, текс.

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\operatorname{tg} \beta_{cp}}{\sqrt{(1 + \varepsilon)^3}}, \quad (1.13)$$

где ε – относительное разрывное удлинение, %.

К.Н. Ушакова попыталась применить формулу К.И. Корицкого для расчета прочности ацетатных нитей и убедилась, что данная формула объективно отражает характер изменения разрывной нагрузки нитей в зависимости от крутки, однако абсолютные значения разрывной нагрузки отличаются от фактических. К.Н. Ушакова [20; 41] установила, что углы β_1 и β_{cp} очень близки по значению. Таким образом, ею было предложено использовать одно значение угла наклона элементарных нитей β и определять его по формуле Г.В. Соколова:

$$\operatorname{tg} \beta = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot d^2 \cdot K_o^2}{2 \cdot (1 + \varepsilon)^3}}, \quad (1.14)$$

где K_o – фактическая остаточная крутка нити до ее растяжения, кр/мм.

К.Н. Ушакова провела масштабные экспериментальные исследования, в результате которых было определено значение коэффициента C , равное 0,9.

Впоследствии К.И. Корицкий видоизменил формулу для расчета разрывной нагрузки комплексных нитей [20]:

$$P = P_0 \cdot (1 + C \cdot \sin^2 \beta_{cp}) \cdot (1 - C_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta), \quad (1.15)$$

где C – коэффициент, учитывающий механические свойства комплексной нити;

C_1 – коэффициент, учитывающий механические свойства волокон или элементарных нитей;

β_{cp} – средневзвешенное значение угла наклона элементарных нитей в наружном слое комплексной нити;

β – угол наклона элементарных нитей в наружном слое комплексной нити.

$$C = 0,5 \cdot \eta \cdot \mu, \quad (1.16)$$

где η – поправочный коэффициент, определяемый по эмпирической формуле:

$$\eta = 2 - \frac{1,4}{\sqrt[4]{m_0}}, \quad (1.17)$$

где m_0 – число элементарных нитей в поперечном сечении комплексной нити.

$$C_1 = \frac{(0,5 \cdot A_0 - B_0 \cdot \varepsilon_0)}{P_0} = 0,5 \cdot a + b \cdot \varepsilon_0, \quad (1.18)$$

где ε_0 – разрывное удлинение нити, %;

a и b – коэффициенты в уравнении кривой растяжения нити;

A_0 и B_0 – постоянные коэффициенты.

Формулы К.И. Корицкого имеют тот же недостаток, что и формулы М.Н. Белицина: поправочные коэффициенты, входящие в них, определяются расчетом по эмпирическим формулам или опытным путем. Следовательно, чтобы их применить, необходимо провести большое количество экспериментальных исследований по нитям с разной линейной плотностью и различными свойствами.

Д.И. Каландаровым и Г.В. Соколовым выведена формула для определения разрывной нагрузки P крученых химических нитей [20]:

$$P = \frac{P_T \cdot F_H}{\sqrt{\frac{(1 + B^3 \cdot A^2)}{1 + A}}}, \quad (1.19)$$

где P_T – теоретическая разрывная нагрузка исходных нитей, сН;

F_H – коэффициент, отражающий неоднородность растяжения ориентированных нитей;

B – константа, зависящая от степени и направления ориентации макромолекул в нитях, числа элементарных нитей в комплексной нити и, следовательно, от ее линейной плотности;

A – константа, зависящая от диаметра нити, числа стренг, крутки и удлинения.

$$F_H = \frac{C}{1 - 0,2\sqrt{\operatorname{tg} \beta}}, \quad (1.20)$$

где C – постоянный коэффициент, зависящий от равномерности зажатых в тисках разрывной машины элементарных нитей по длине и от равномерности их эластических свойств.

$$C = 1 - 0,0465\sqrt[4]{n}, \quad (1.21)$$

где n – число элементарных нитей в комплексной нити.

Разрывная нагрузка крученой нити до и после критической крутки изменяется не одинаково, поэтому нельзя воспользоваться одним общим уравнением. Таким образом, если расчетные коэффициенты круток находятся в пределах 0-25, применяют формулу:

$$P = \frac{P_T \cdot F_H \cdot C'}{\sqrt{\frac{1 + B^3 \cdot A^2}{1 + A}}}, \quad (1.22)$$

где C' – коэффициент, отражающий влияние процесса самоориентации, происходящего при $\alpha = 0...25$.

$$C' = 1 + \mu \cdot \sqrt[4]{\frac{\alpha}{5}}, \quad (1.23)$$

где μ – коэффициент трения.

В.П. Щербаков [39; 40; 42; 43; 44; 45] разработал общую теорию разрушения нити и пряжи, основанную на статической прочности волокон и рассмотрении нити как механической консервативной системы, т.е. системы, для которой работа внешней силы целиком затрачивается на накопление потенциальной энергии деформации. В.П. Щербаков вывел, в частности, формулу для расчета прочности скрученной нити:

$$P_k = 2 \left(\frac{T}{\cos \beta_k} - \frac{q_0 R}{\cos \beta_k} \right), \quad (1.24)$$

где T – прочность одиночной нити (компонента), равная натяжению в момент разрыва;

R – радиус поперечного сечения крученой нити;

β_k – угол подъема винтовой линии (оси крученой нити);

q_0 – контактная нагрузка, которая находится из соотношения:

$$q_0 = \frac{P \sin^2 \beta_k}{2R \cos \beta_k} + GI_p \frac{\sin^2 \beta_k}{2R^3}, \quad (1.25)$$

где P – прочность крученой нити;

GI_p – жесткость нити при кручении.

Выведенная автором формула для неоднородной текстильно-металлической нити имеет вид (звездочкой обозначены предельные величины, соответствующие разрушению):

$$P_* = T_{3*} \frac{(e_1 + e_2) \cos^3 \alpha + \cos^3 \beta}{\cos^2 \beta}, \quad (1.26)$$

где T_{3*} – предельная нагрузка наиболее жесткого компонента (металлической нити);

α – угол подъема винтовой линии (оси химического компонента);

β – угол подъема винтовой линии (оси металлической нити);

e_1 и e_2 – определяются из соотношений:

$$e_1 = \frac{E_1 F_1}{E_3 F_3}, \quad e_2 = \frac{E_2 F_2}{E_3 F_3}, \quad (1.27)$$

где EF с соответствующими индексами представляет собой жесткость нити при растяжении.

Рассмотренные выше формулы обладают рядом преимуществ и справедливы для крученых и скрученных нитей, однако они не могут быть применены к расчету прочности обкрученных нитей, поскольку внутри обкрученной нити между стержневым компонентом и обкручивающим возникает взаимодействие иного характера.

Выводы по первой главе

1. Высокопрочные волокна и нити класса параарамидов, широко применяемые для изготовления защитной одежды и изделий индивидуальной защиты, затруднительно окрашиваются, поэтому их целесообразно использовать в сочетании с другими материалами, восприимчивыми к химической отделке.
2. Термостойкие материалы класса метаарамидов, имеющие схожие эксплуатационные характеристики, хорошо окрашиваются, но не обладают высокими прочностными свойствами. Последнее предопределяет их использование в качестве дополнительных компонентов там, где прочность имеет принципиальное значение.
3. Рассмотрены способы выработки армированных нитей различной структуры. Остались невыясненными вопросы получения комбинированных нитей, структура которых соответствовала бы требованиям поставленных задач.
4. Проведен анализ методов расчета прочности крученых и скрученных нитей. Представленные формулы не подходят для расчета прочности комбинированных обкрученных нитей, поскольку внутри таких нитей между компонентами возникает взаимодействие иного характера.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ

2.1. Выбор и обоснование сырья

В литературном обзоре подробно описаны особенности строения, свойства и применение арамидных материалов как наиболее перспективных для изготовления защитной одежды. Среди них следует особо выделить нити, производимые отечественным предприятием ОАО «Каменскволокно» (г. Каменск-Шахтинский) (технология получения арамидных материалов здесь внедрена во второй половине 80-х годов прошлого столетия). Это предприятие является одним из основных в стране по выпуску высокопрочных арамидных нитей СВМ (первое поколение), Армос (второе поколение) и нитей своих собственных марок: Русар (новое название Руслан), АРУС и Artes. Последние относятся к сверхпрочным нитям третьего поколения. [46; 47]

Поскольку целью работы является получение нити, используемой для переработки в ткань, в частности для верхнего слоя защитной одежды (что предполагает использование нитей с небольшой линейной плотностью), для исследований были выбраны нити Русар 14,3 и 29,4 текс.

Русар появился в 1995 году, когда впервые (на опытно-промышленной установке) было получено структурно и химически модифицированное термостойкое сверхвысокопрочное арамидное волокно второго поколения. На следующем этапе, в конце 1997 года, удалось впервые в мире реализовать метод получения арамидной нити повышенной прочности из изотропного раствора полимера сухо-мокрым способом формования, а с 2000 года серийно производить их под торговой маркой «Русар-С» (третье поколение). Именно эти нити и явились основным сырьем для разрабатываемых неоднородных комбинированных нитей в качестве высокопрочного компонента. Физико-механические характеристики нитей Русар-С приведены в таблице 2.1. [48]

Таблица 2.1 – Физико-механические характеристики нитей Русар-С линейной плотности 14,3 и 29,4 текс

Наименование показателя	Норма для нити номинальной линейной плотности	
	14,3 текс	29,4 текс
Относительное отклонение фактической линейной плотности от номинальной, %, не более	5,0	4,0
Удельная разрывная нагрузка нити, сН/текс, не менее	210	210
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %, не более	11,0	10,0
Относительное удлинение нити при разрыве, %, не менее	2,6	2,6
Модуль упругости, МПа	13000-14500	13000-14500
Массовая доля замасливателя, %	0,8-2,0	0,8-2,0
рН нити	5,1-8,0	5,1-8,0
Кислородный индекс, %	28-30	28-30
Число кручений на 1м нити, кр/м	110±10	100±10
Количество элементарных нитей	100	200/300
Линейная плотность элементарной нити, текс	0,14-0,15	0,14-0,15

Исходя из указанных характеристик, производитель параарамидных материалов ОАО «Каменскволокно» ориентируется на следующие области применения нитей Русар-С:

- средства индивидуальной бронезащиты;
- композиционные материалы;
- ленты специального назначения;
- кабельная продукция;
- резинотехнические изделия;
- термостойкая защитная одежда. [49]

Поскольку в качестве основного компонента неоднородной комбинированной нити выбрана комплексная нить Русар-С, следует указать на широкий спектр ее положительных свойств, к которым относятся:

- высокая прочность при растяжении (230-270 сН/текс);
- высокий модуль упругости (13000-14500 МПа);
- низкое разрывное удлинение (1-2,6 %);
- высокая стойкость к термической и термоокислительной деструкции (термостойкость: при T=300 °C через 100 часов – 35-40 %);

- не поддерживает горения на воздухе (кислородный индекс 30-32);
- устойчивость к действию химических реагентов;
- равновесная влажность 2 % (при относительной влажности $W=65\%$);
- незначительное изменение свойств в мокром состоянии;
- биостойкость;
- хорошая совместимость со связующими различных классов;
- возможность длительного хранения без изменения свойств.

Следует обратить внимание на то, что наряду с преимуществами Русар-С имеет два существенных недостатка: высокую стоимость и плохую окрашиваемость. Последний усложняет использование нитей Русар-С (в их исходном виде) для переработки в ткань для защитной одежды. Это обусловлено тем, что в ряде случаев требуется наносить специальный рисунок (например, «камуфляж») или, в зависимости от области применения, окрашивать ткань в конкретный стандартизированный цвет.

Таким образом, для создания нитей выбранного назначения возникает необходимость во втором компоненте, одним из основных требований к которому является хорошая окрашиваемость.

В качестве второго компонента была взята термостойкая пряжа из волокон Арселон-С (светостабилизированных), произведенная ОАО «Кобринская прядильно-ткацкая фабрика «Ручайка» (республика Беларусь). Среди имеющейся на этой фабрике продукции указанного ассортимента наиболее подходящей оказалась пряжа линейной плотности 29,4 текс, поскольку пряжу тоньше они не выпускают. [50]

Арселон (прежнее название Оксалон) — термостойкое волокно из класса полиоксидазольных волокон. Разработано в начале 70-х годов в НПО «Химволокно», г. Мытищи Московской области. В промышленных масштабах производится с 1975 года на ОАО «СветлогорскХимволокно», г. Светлогорск республика Беларусь. [51; 52]

Термостойкие материалы под общим названием «Арселон» очень востребованы, поэтому выпуск изделий на их основе хорошо налажен как на предприятиях России и СНГ, так и за рубежом. Важно отметить, что продукция «Арселон» может быть как несветостабилизированной, так и светостабилизированной, то есть устойчивой к ультрафиолетовому излучению солнца. Для исследований была взята пряжа из светостабилизированных волокон.

Пряжа из волокон Арселон-С не настолько прочная, как нить Русар-С; к тому же она имеет большее разрывное удлинение. Однако, несмотря на указанные недостатки, данная пряжа является оптимальным дополнением к нити Русар-С, поскольку обладает схожими эксплуатационными характеристиками (в частности хемо-, термо- и огнестойкостью). Физико-механические свойства арселоновой пряжи сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Физико-механические свойства арселоновой пряжи

Наименование показателя	Значение показателя
Линейная плотность, текс	29,4
Коэффициент вариации по линейной плотности, %, не более	1,8
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс, не менее	17,9
Коэффициент вариации по удельной разрывной нагрузке, %, не более	9,6
Относительное удлинение нити при разрыве, %, не менее	9,1
Коэффициент вариации по относительному разрывному удлинению, %, не более	9,4
Модуль упругости, МПа	3000-5400
Кислородный индекс, %, не ниже	30
Температура стеклования, °С, не менее	330
Крутка, кр/м	585±25
Линейная плотность волокна, текс	0,17

Помимо представленных в таблице 2.2 характеристик, материалы «Арселон» обладают рядом других положительных свойств:

– термостабильность: арселоновая продукция имеет высокую температуру разложения (505 °С); диапазон рабочей температуры в атмосферном воздухе от – 270 до + 400 °С. Высокая термостойкость позволяет эксплуатировать изделия из арселоновых волокон и нитей при температуре + 250 °С сроком до

3-х лет. При этом сохраняется их прочность и эластичность на воздухе как при высоких, так и при низких температурах;

- пониженная горючесть: материалы на основе арселоновых волокон и нитей обладают устойчивостью к действию открытого пламени; не плавятся; кислородный индекс не ниже 30. Изделия на основе такого сырья не прожигаются при попадании раскаленных частиц металла с температурой 600-700 °С;
 - хемостойкость: арселоновое волокно отличается высокой стойкостью к действию химических реагентов: не набухает, не растворяется в органических растворителях. Кроме того, данное волокно умеренно устойчиво к действию разбавленных неорганических кислот и щелочей при температурах до 100 °С;
 - гигроскопичность: материалы из арселоновых волокон и нитей обладают равновесным влагосодержанием и высоким уровнем гигроскопичности, сравнимым с вискозой и хлопком (10-11 %);
 - линейная усадка: под воздействием высоких температур (450 °С) волокно Арселон усаживается не более чем на 0,5 %, что на порядок ниже, чем у других термостойких арамидных материалов;
 - коэффициент трения по металлу: арселоновые волокна и нити имеют низкий коэффициент трения по металлу – до 0,2, что позволяет использовать его в композиционных материалах;
 - хорошие электроизоляционные свойства: электрическое сопротивление составляет не менее 10^{14} Ом·мм²/м;
 - окрашиваемость: материалы, выработанные из арселоновых волокон и нитей, способны хорошо окрашиваться;
 - низкий ценовой уровень в сравнении с другими термостойкими материалами.
- [52; 53; 54]

Согласно вышеуказанным свойствам, области применения материалов из арселоновых волокон и нитей весьма обширны:

- защитная одежда для пожарных и спасателей;

- защитная одежда (экипировка) в условиях повышенного теплового воздействия и электрической дуги, кислот, щелочей, нефти и нефтепродуктов, общих производственных загрязнений;
- фильтрация горячих газов на предприятиях цементной, химической и металлургической промышленности;
- термоизоляционная обивка салонов любых транспортных средств;
- безасбестовые фрикционные изделия;
- сальниковые набивки;
- конструкции тепловых аэростатов;
- электроизоляционные материалы;
- гладильные прессы.

Рассмотрев преимущества и недостатки исходного сырья, приходим к выводу, что нити Русар-С и арселеновая пряжа подходят в качестве объектов исследования с целью создания неоднородных комбинированных нитей для технических изделий.

Поскольку назначением комбинированной нити является переработка в ткань, применяемую для изготовления защитной одежды, целесообразно взять нить Русар-С небольших линейных плотностей: 14,3 и 29,4 текс; аналогично арселеновую пряжу – 29,4 текс.

С целью оценки основных характеристик выбранного сырья в лаборатории кафедры были выполнены следующие испытания. Абсолютную разрывную нагрузку, удлинение при разрыве, разрывную нагрузку в петле и в узле определяли с помощью машин РМ-3-1, РМ-30-1 [55; 56] и STATIGRAPH L; линейную плотность устанавливали через массу отрезка длиной 1 метр, измеренную с помощью торсионных весов марки ВТ-200 [57]; неравновесность – с помощью прибора ПОН-1 [58]; жесткость при кручении – с помощью прибора КМ-20-2М; величину крутки – с помощью круткомера КУ 500-2м. [59] Результаты испытаний сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Основные характеристики исходных нитей и пряжи

Показатели \ Вид нити	Нить Русар-С, 29,4 текс		Нить Русар-С, 14,3 текс		Арселоновая пряжа, 29,4 текс	
	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)
Абсолютная разрывная нагрузка, Н	66,72	3,90	32,57	8,43	4,31	18,13
Удлинение при разрыве, %	2,97	4,87	3,36	7,76	11,06	16,11
Линейная плотность, текс	28,88	7,06	14,39	12,02	32,26	8,32
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	226,93	3,90	226,34	17,61	14,67	18,13
Неравномерность, в/м	4,94	11,45	1,37	69,12	17,33	17,30
Крутка, кр/м	97,00	7,19	99,20	3,84	645,00	4,93
Жесткость при кручении, у.е.	6,46	2,22	3,19	1,83	4,87	7,31
Разрывная нагрузка в петле, Н	30,75	4,28	12,91	5,23	5,91	14,27
Разрывная нагрузка в узле, Н	24,56	6,08	9,59	5,21	5,31	14,01

Из таблицы 2.3 видно, что благодаря своим прочностным характеристикам комплексная нить Русар-С хорошо подходит в качестве основного компонента для получения неоднородной комбинированной нити.

2.2. Разработка структуры неоднородных комбинированных нитей

В настоящее время уже существует ряд наработок в исследуемом направлении.

Известна комбинированная нить (патент RU 2113565, 20.06.1998), используемая для изготовления тканых и трикотажных изделий. Данная нить состоит из двух компонентов, один из которых высокоэластичный полиуретановый сердечник с линейной плотностью ниже номинальной в 1,5-4,0 раза, а второй представляет собой обкручивающий компонент в виде пряжи. Пряжа выполнена из натуральных или химических волокон, или их смеси с линейной плотностью, равной 5,9-50,0 текс, при коэффициенте крутки, равном 28,5-50,7. [60]

Недостатком указанной нити является то, что она не обладает высокой прочностью и термостойкостью.

Известна комбинированная нить (патент RU 2127778, 20.03.1999), используемая для получения трикотажных изделий, например, перчаток, применяемых для защиты человека от электрического тока высокого напряжения. Комбинированная нить содержит сердечник, имеющий по меньшей мере одну мишурную нить линейной плотности 50 текс, по меньшей мере одну углеродную комплексную нить линейной плотности по меньшей мере 100 текс и по меньшей мере одну арамидную комплексную нить. Нити в сердечнике расположены параллельно. Сердечник обкручен в двух противоположных направлениях арамидной комплексной нитью со степенью обкрутки по меньшей мере 10 витков/см. [61]

Недостатком такой нити является большая линейная плотность, что не применимо для изготовления защитной одежды. Кроме того, изделия из таких нитей плохо окрашиваются.

Известна армированная нить (патент RU 2418892, 20.05.2011), состоящая из стержня и двух оболочек, причем в качестве стержня использована комплексная высокомолекулярная арамидная нить, имеющая линейную плотность 6,3 текс и выше. В качестве первой оболочки применяют оческовую льняную пряжу линейной плотности по меньшей мере 33,5 текс. В качестве второй оболочки применяют хлопчатобумажную пряжу линейной плотности от 18,5 текс,

пропитанную до кручения фторорганическими латексами. Содержание льняного волокна в нити составляет не менее 57 %, а содержание хлопчатобумажного волокна в нити составляет по меньшей мере 25 %. Линейная плотность получаемой нити не превышает 110 текс. [62]

Недостаток представленной нити заключается в том, что она не является термо- и огнестойкой.

Известна комбинированная нить, первый компонент которой представляет собой комплексную нить или пряжу из волокна на основе ароматического сополиамида, скрученную со вторым компонентом из пряжи, состоящей из волокон на основе оксадиазола, одиночного, двойного или тройного сложения. Причем нить или пряжа первого компонента имеет линейную плотность в диапазоне от 10 до 200 текс, а пряжа второго компонента – от 13 до 200 текс. Известен патент на ткань, вырабатываемую из такой нити (RU 2211263, 27.08.2003). [63]

Недостатками указанной нити являются неудовлетворительный показатель неравновесности при малых значениях линейной плотности исходных компонентов и слишком большая линейная плотность готовой нити – при больших. Кроме того, изделия из такой нити будут плохо окрашиваться.

Известна комбинированная нить, представляющая собой бикомпонентную армированную нить, состоящую из стержня и оплетки. В качестве стержня используется арамидная комплексная нить линейной плотности 6,3-200 текс. Второй компонент, являющийся оплеткой, представляет собой пряжу из волокон на основе оксадиазола с количеством витков 400-1000 кр/м и линейной плотности 10-200 текс. Известен патент на огнестойкую ткань, вырабатываемую из такой нити (RU 2408748, 10.01.2011). [64]

Недостатком данной комбинированной нити является высокий показатель неравновесности, поскольку обкручивание производится в одном направлении.

Известна комбинированная крученая нить, полученная Коганом А.Г. и Алаховой С.С. на кафедре прядения натуральных и химических волокон

Витебского государственного технологического университета. Указанная нить состоит из комплексной огнетермостойкой нити Русар линейной плотности 29,4 текс и арселеновой пряжи 25 текс. Крученая нить нарабатывалась на прядильно-крутильной машине ПК-100М3; оптимальной оказалась крутка 350 кр/м. [65]

Недостатком рассматриваемой крученой нити является неудовлетворительная окрашиваемость, поскольку при крутке 350 кр/м арселеновая пряжа не обеспечивает плотный застил поверхности нити Русар, которую, как известно, окрасить затруднительно.

Для того чтобы избежать выше перечисленных недостатков, было предложено нить Русар-С обкручивать арселеновой пряжей в двух противоположных направлениях: сначала в направлении по часовой стрелке (Z), а затем – против часовой стрелки (S). Подобная структура обеспечивает хорошие физико-механические показатели, в частности прочности и неравновесности; в то же время такая нить остается термо- и огнестойкой. Кроме того, благодаря плотному застилу, который арселеновая пряжа образует на поверхности нити Русар-С, комбинированная нить будет хорошо окрашиваться, а цена останется доступной для потребителя. Структура исследуемой комбинированной нити представлена на рисунке 2.1: центральное положение занимает комплексная нить Русар-С (1), которую обкручивает арселеновая пряжа сначала в направлении по часовой стрелке Z (2), образуя внутренний слой обмотки, а затем – в противоположном направлении S (3), образуя внешний слой обмотки.

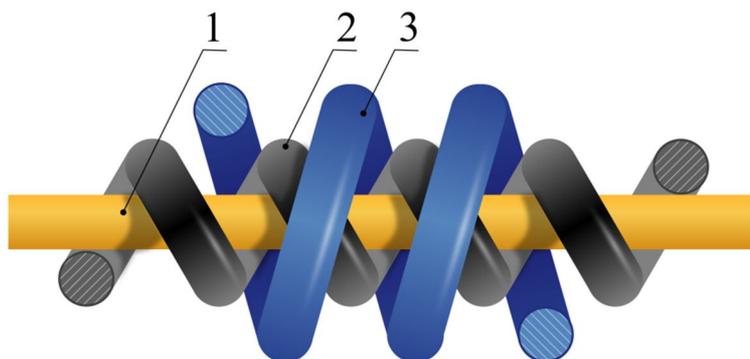


Рисунок 2.1 – Структура комбинированной нити

Уточнение и оптимизация предложенной структуры по исходным характеристикам сырья и технологическим параметрам выработки будут осуществлены в главе 3 после проведения необходимых исследований.

2.3. Выбор оборудования для наработки обкрученных нитей

На сегодняшний день существует ряд машин, с помощью которых можно получить обкрученные нити, например, отечественная резиноокруточная машина ОРН-1. На машине 80 веретен, частота вращения веретен $3900-10200 \text{ мин}^{-1}$, линейная скорость выработки нити $1,06-9,45 \text{ м/мин}$, число витков на 1 см – 15-42 в/см. Габариты машины: длина 2160 мм, ширина 750 мм, высота 1730 мм, масса 1300 кг. [66]

Недостатками данной машины являются небольшая производительность, низкая частота вращения веретен, невысокая скорость переработки, малая масса готовой нити на выходной паковке и отсутствие возможности получения нити с числом обкручиваний менее 1000 в/м. Кроме того, машина ОРН-1 не позволяет набирать неоднородные комбинированные нити предложенной структуры, поскольку скорости питания, выпуска и наматывания должны быть равны.

Технические характеристики других обкруточных машин приведены в таблице 2.4.

Обкруточная машина модели 196 1000/В итальянской фирмы «Menegatto» [67] имеет следующие недостатки: малая масса нити на катушках (до 400 г), устанавливаемых на полые веретена, небольшая масса готовой нити на выходной паковке (до 450 г), число витков на 1 см нити – 6-25 в/см, высокий уровень шума, устаревшая конструкция.

Единственным, но существенным в производственных условиях, недостатком обкруточной машины модели SP-R 1233607476 итальянского производителя «ОММ Ratti» являются ее большие габаритные размеры.

Таблица 2.4 – Технические характеристики обкруточных машин

Оборудование Показатель	141 D	ISC 1000/250/112	196 1000/B	1500/270/ 2003NG	SP-R 1233607476
Производитель	ZJS Китай	ILSIN Юж. Корея	Menegatto Италия	Menegatto Италия	OMM Ratti Италия
Тип входного нитеносителя: эластановая нить полиамидная нить	цилиндрическая шпуля двухфланцевая катушка				
Тип входной паковки: эластановая нить полиамидная нить	цилиндрическая с прямыми торцами цилиндрическая с коническими торцами				
Вид намотки на входной паковке: эластановая нить полиамидная нить	крестовая крестовая				
Тип выходной паковки	цилиндрическая с коническими торцами				
Вид намотки на выходной паковке	крестовая				
Число сторон, шт.	2	2	2	2	2
Число секций, шт., не более	8	6	6	10	9
Число веретен на машине, шт.	192	224	192	240	288
Расстояние между местами, мм	260	200	200	270	210,274
Частота вращения веретена, мин ⁻¹	7000-17500	6000-16000	8000-16000	8000-16000	14000-27000
Число обкручиваний, обкр/м	200-3500	80-3400	600-2500	500-2500	500-3500
Потребляемая мощность, кВт: верхние веретена нижние веретена	15 15	5,5 5,5	30 30	30 30	22 22
Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота	16400 1450 2050	16895 1170 1580	10820 600 1885	10820 600 1885	18800 1160 2050

Недостатком обкруточной машины модели 141D Yarn Covering Machine китайской фирмы «Zhejiang Jinggong Science and Technology Co.,Ltd.» [68] является то, что она предназначена для получения обкрученных нитей с эластомерным компонентом, а также то, что число витков на 1 см – 4-25 в/см.

Обкруточная машина модели ISC 1000/220/128 корейской фирмы «IL SIN MACHINERY CO.» [69] подходит для наработки комбинированных нитей с неэластичным внутренним компонентом и оплетки в виде пряжи (в двух противоположных направлениях). Это возможно благодаря тому, что

использование эластичной нити в качестве стержня на этой машине не обязательно.

Обкруточная машина Menegatto 1500/270/2003NG [67] также позволяет вырабатывать нити без питающего устройства, что дает возможность получать неоднородные комбинированные нити выбранной структуры.

Анализируя обкруточное оборудование для получения комбинированных нитей, важно отметить следующее:

- стержневой компонент может подаваться в полые веретена под натяжением через нитенатяжитель без питающего устройства;
- целесообразно использовать выпускную пару или напрямую заправлять готовую нить на выходную паковку; наматывающее устройство при этом будет выполнять функцию сообщения комбинированной нити необходимой скорости выработки.

На основании вышеизложенного для наработки неоднородных комбинированных нитей решили использовать обкруточную машину Menegatto 1500/270/2003NG, установленную на отечественном предприятии ООО «ЮнайТекс» (г. Новомосковск Тульской обл.). Схема заправки, реализованная на данной машине, представлена на рисунке 2.2.

Сматываясь с паковки 1, нить Русар-С проходит через крючок баллоноограничителя 2, а после – нитенатяжитель магнитного типа 3, где ей сообщается предварительное натяжение. Огибая направляющий пруток 4, нить следует через первое веретено с насаженной на него катушкой 5, содержащей арселоновую пряжу, которой обкручивается стержневой компонент (нить Русар-С). После, пройдя через крючок баллоноограничителя 6, нить, обкрученная в одном направлении, проходит через второе полое веретено, на которое насажена катушка 7. Арселоновая пряжа, сходящая с катушки 7, обкручивает одинарно обкрученную нить в противоположном направлении до крючка баллоноограничителя 8. Зонами обкручивания являются участки от схода нити с катушек 5 и 7 до крючков баллоноограничителей 6 и 8 соответственно. Веретена приводятся в движение благодаря ременной передаче. После крючка

баллоноограничителя 8 нить не заправляется в выпускную пару, а проходит через направляющий пруток 9, после чего наматывается на выходную паковку 12 при помощи нитераскладчика 10 и фрикционного цилиндра 11.

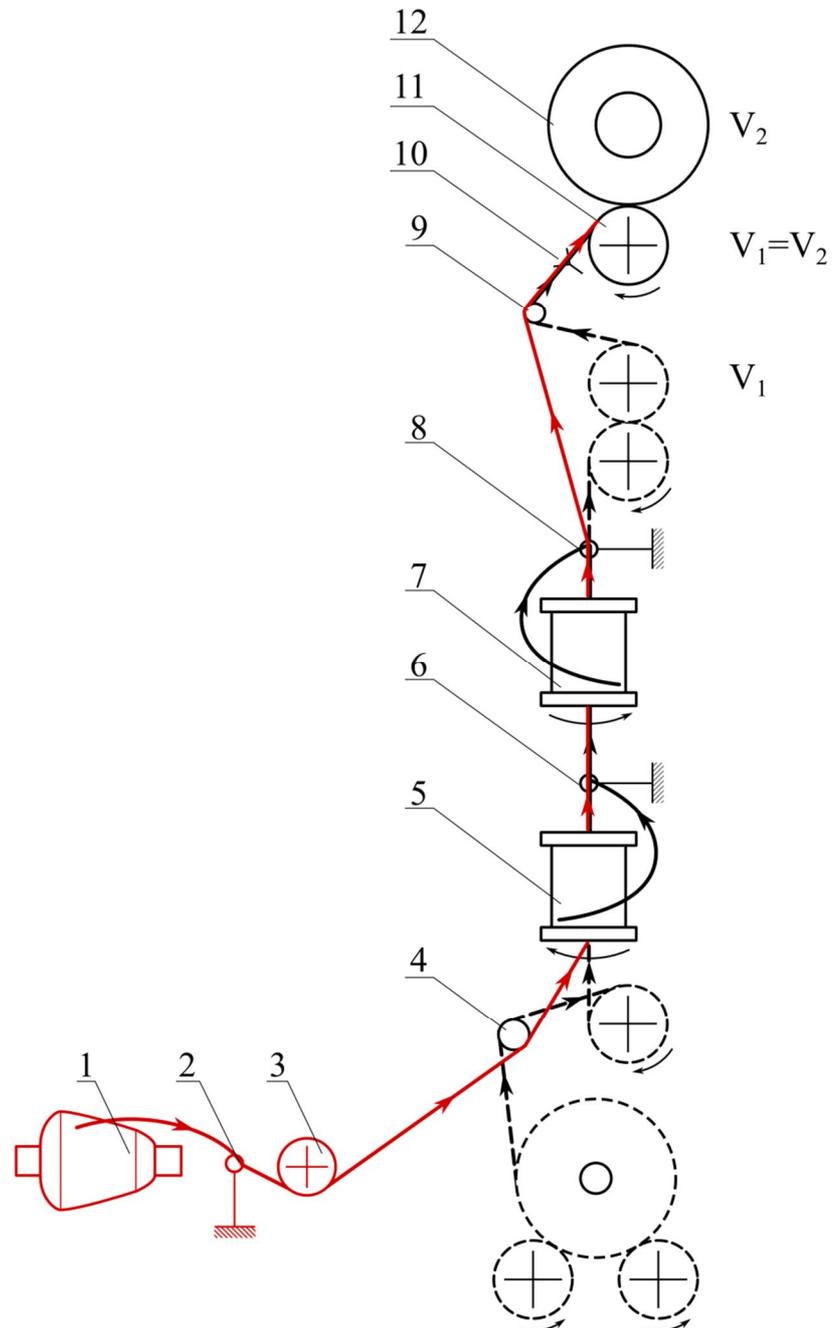


Рисунок 2.2 – Технологическая схема обкруточной машины Menegatto модели 1500/270/2003 NG

Для перематывания арселеновой пряжи на специальные катушки, которые потом устанавливают на полые веретена обкруточной машины, можно использовать перемоточную машину марки NPV той же итальянской фирмы.

В процессе наработки комбинированных нитей стержневому компоненту сообщается натяжение, которое можно рассчитать, используя теоретический метод, предложенный В.П. Щербаковым [70].

2.4. Расчет натяжения стержневого компонента в процессе выработки комбинированных нитей

Прикладные задачи, описывающие процессы с баллонирующими нитями на прядильных и крутильных машинах, при осевом сматывании нити с початка или бобины, сводятся к получению дифференциальных уравнений движения баллонирующей нити и формулировке краевых условий той или иной конкретной задачи. [70]

Рассмотрим форму и натяжение баллонирующей нити (рисунок 2.3).

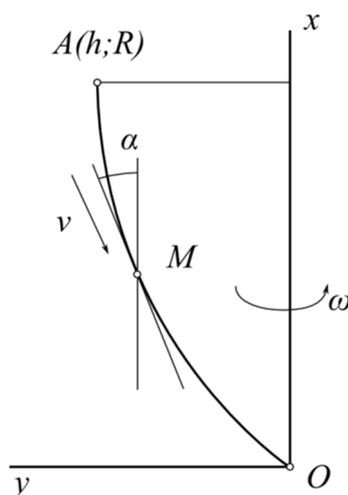


Рисунок 2.3 – Схема баллона сматывания [70]

Примем, что длина нити l мало отличается от расстояния h между точками закрепления нити. Тогда угол α между касательной к нити и осью вращения x является малым и производная $y' = \operatorname{tg} \alpha \ll 1$.

Воспользуемся приближенным соотношением, получающимся при разложении радикала в ряд по степеням y' :

$$ds = \sqrt{1 + y'^2} dx \approx \left(1 + \frac{1}{2}y'^2\right) dx.$$

Уравнения относительного равновесия имеют вид [70]

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{2}y'^2} \frac{d}{dx} \left(\frac{T}{1 + y'^2} \right) = 0; \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{2}y'^2} \frac{d}{dx} \left(\frac{T}{1 + \frac{1}{2}y'^2} y' \right) = -\mu \omega^2 y. \quad (2.2)$$

Из уравнения (2.1) следует, что

$$T = C_1 \left(1 + \frac{1}{2}y'^2\right), \quad (2.3)$$

где $C_1 = \text{const}$.

Подставляя найденное значение T в уравнение (2.2), получим дифференциальное уравнение второго порядка, определяющее форму нити,

$$y'' = -\frac{\mu \omega^2}{C_1} y (1 + y'^2). \quad (2.4)$$

Понизим порядок уравнения, принимая $y' = u$, $y'' = u \frac{du}{dy}$:

$$u \frac{du}{dy} = -\frac{\mu \omega^2}{C_1} y \left(1 + \frac{1}{2}u^2\right).$$

Так как $y' = u$ мало, то $\frac{1}{1 + \frac{1}{2}u^2} \approx 1 - \frac{1}{2}u^2$. В ходе решения членами, содержащими

$\frac{dy}{dx}$ в степени, выше второй, будем пренебрегать. Поэтому предыдущее

соотношение запишется в виде

$$\left(1 - \frac{1}{2}u^2\right)u \frac{du}{dy} = -\frac{\mu\omega^2}{C_1}y.$$

После интегрирования получим

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{C_2 - \frac{\mu\omega^2}{C_1}y^2}, \quad (2.5)$$

где $C_2 = \text{const}$.

Разделив переменные и проинтегрировав, получим

$$\frac{\sqrt{C_1}}{\omega\sqrt{\mu}} \arcsin\left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1 C_2}}\omega y\right) = x + C_3,$$

где $C_3 = \text{const}$.

В точке O $y = 0$, $x = 0$, тогда $C_3 = 0$, и, следовательно,

$$y = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin\left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}}\omega x\right). \quad (2.6)$$

Это общее решение задачи для пологой вращающейся нити.

Возвратимся к вопросу изменения угловой скорости ω при сматывании нити по мере уменьшения диаметра паковки. Наиболее полно эта задача решена А.П. Минаковым (1955 год). Изложим основные положения геометрии и кинематики сматывания; введем обозначения (рисунок 2.4):

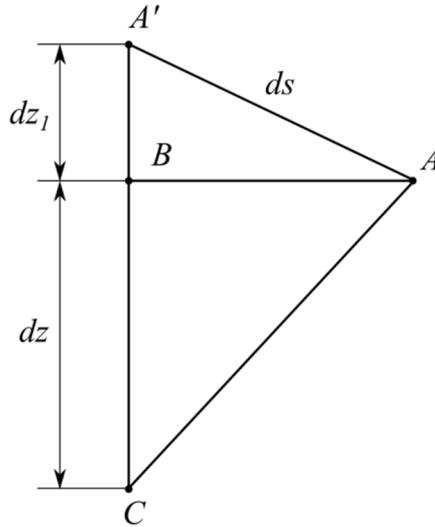
$dl = CA$ – элемент сматываемой нити на поверхности;

$d\sigma = DA$ – проекция dl на меридиан;

$dz = EA = CB$ – проекция dl на направление, параллельное оси вращения;

$dr = ED$ – изменение радиуса поверхности при переходе из точки A в точку C ;

α – угол касательной к меридиану с осью вращения;

Рисунок 2.5 – Движение материальной точки A [70]

Отсюда

$$v = \frac{ds}{dt} = 2 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{dl}{dt} = \sqrt{2(1 - \cos \gamma)} v_c,$$

где v – скорость материальной точки нити;

v_c – скорость геометрической точки схода нити.

Обозначим через w скорость изменения проекции dl на ось, параллельную оси вращения, и через u скорость сматывания или скорость материальной точки в направлении оси (проекция скорости материальной точки на направление оси).

Тогда

$$w = \frac{dz}{dt} = \cos \gamma \cdot v_c,$$

$$u = \frac{dz_1}{dt} = 2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} \cdot v_c.$$

Отсюда из рисунка 2.4

$$v = u \cos \frac{\gamma}{2} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1 - \cos \gamma}} u,$$

$$rd\varphi = dl \sin \beta, \quad (2.7)$$

$$r\omega = \frac{\sin \beta}{2\sin^2 \frac{\gamma}{2}} u .$$

Для сматывания в направлении вверх (рисунки 2.6, 2.7) формулы аналогичны, но вместо знака плюс будет стоять минус, и наоборот.

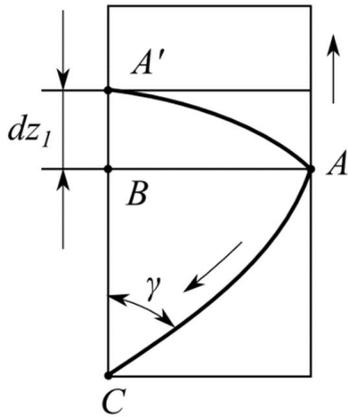


Рисунок 2.6 – Сматывание вниз [70]

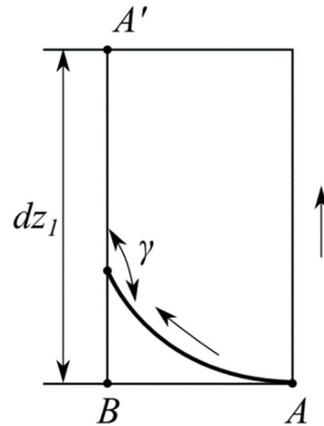


Рисунок 2.7 – Сматывание вверх [70]

В общем виде

$$v = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1 \pm \cos \gamma}} u . \quad (2.8)$$

Из рисунка 2.4 следует

$$AE = dl \cos \gamma = AD \cos \alpha = dl \cos \beta \cos \alpha .$$

Откуда

$$\cos \gamma = \cos \alpha \cdot \cos \beta . \quad (2.9)$$

Таким образом, получили формулы:

$$\begin{aligned} v &= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1 \pm \cos \gamma}} u ; \\ w &= \frac{\cos \gamma}{1 \pm \cos \gamma} u ; \\ r\omega &= \frac{\sin \beta}{1 \pm \cos \gamma} u . \end{aligned} \quad (2.10)$$

Для баллона осевого сматывания нити с бобины или катушки действительна система дифференциальных уравнений и общее решение задачи для пологой вращающейся нити в виде (2.6):

$$y = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin\left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega x\right).$$

Для частного решения имеем граничные условия: в точке A $y = R$ и длина нити в баллоне l :

$$l = \int_0^h \left(1 + \frac{1}{2} y'^2\right) dx = \int_0^h \left\{1 + \frac{1}{2} \left[\sqrt{C_2} \cos\left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega x\right)\right]^2\right\} dx. \quad (2.11)$$

Постоянные интегрирования определяются из уравнений

$$R = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin\left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h\right), \quad l = \left(1 + \frac{C_2}{4}\right) h + \frac{C_2}{8\omega} \sqrt{\frac{C_1}{\mu}} \sin\left(2\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h\right). \quad (2.12)$$

Последнее из уравнений (2.12) получено интегрированием (2.11).

Для решения данных уравнений необходимо знать длину нити в баллоне. Стандартными методами это сделать очень трудно. Для определения длины нити в баллоне лучше всего использовать цифровую фотографию.

Расчет исследуемого показателя в программе MathCAD представлен на рисунках 2.8 и 2.9.

Сматывание нити русар 29,4 текс с бобины

$$\beta := \frac{77 \cdot \pi}{180} \quad \beta = 1.344 \quad h := 0.137 \text{ m} \quad D := 0.045 \text{ m} \quad \underline{\underline{R}} := \frac{D}{2} \quad R = 0.023$$

$$\underline{\underline{L}} := 0.318 \text{ m} \quad k := 1.01 \quad \underline{\underline{l}} := k \cdot (L + h) \quad l = 0.46$$

$$\mu := 29.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{m}} \quad n := 8000 \frac{1}{\text{min}} \quad \omega := \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \omega = 837.758$$

$$\Delta R := \frac{(65 - 45) \cdot 10^{-3}}{2} = 0.01 \quad \alpha := \text{atan}\left(\frac{\Delta R}{h}\right) \quad \alpha = 0.073$$

$$\underline{\underline{\cos(\gamma)}} := \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \quad \cos(\gamma) = 0.224$$

$$u := R \cdot \omega \cdot \frac{(1 - \cos(\gamma))}{\sin(\beta)} \quad u = 15.005 \frac{\text{m}}{\text{c}}$$

$$c1 := 70 \quad c2 := 10$$

Given

$$R = \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{c1 \cdot c2}{\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{\mu}{c1}} \cdot \omega \cdot h\right)$$

$$l = \left(1 + \frac{c2}{4}\right) \cdot h + \frac{c2}{8 \cdot \omega} \cdot \sqrt{\frac{c1}{\mu}} \cdot \sin\left(2 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{c1}} \cdot \omega \cdot h\right)$$

$$\underline{\underline{Re}} := \text{Find}(c1, c2) \quad \underline{\underline{Re}}^T = (43.454 \quad 9.929)$$

$$\underline{\underline{c1}}_0 := \underline{\underline{Re}}_0 \quad c1_0 = 43.454 \quad \underline{\underline{c2}}_0 := \underline{\underline{Re}}_1 \quad c2_0 = 9.929$$

$$T_{\min} := c1_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{c2_0} \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{\mu}{c1_0}} \cdot \omega \cdot h\right)\right)^2\right]$$

$$T_{\min} = 54.313$$

$$T_{\max} := c1_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot c2_0\right)$$

$$T_{\max} = 259.177$$

Рисунок 2.8 – Расчет натяжения нити

$$\underline{n} := \begin{pmatrix} 8 \cdot 10^3 \\ 10 \cdot 10^3 \\ 12 \cdot 10^3 \\ 14 \cdot 10^3 \end{pmatrix} \quad \underline{T_{\max}} := \begin{pmatrix} 25.9 \\ 40.5 \\ 58.3 \\ 79.4 \end{pmatrix}$$

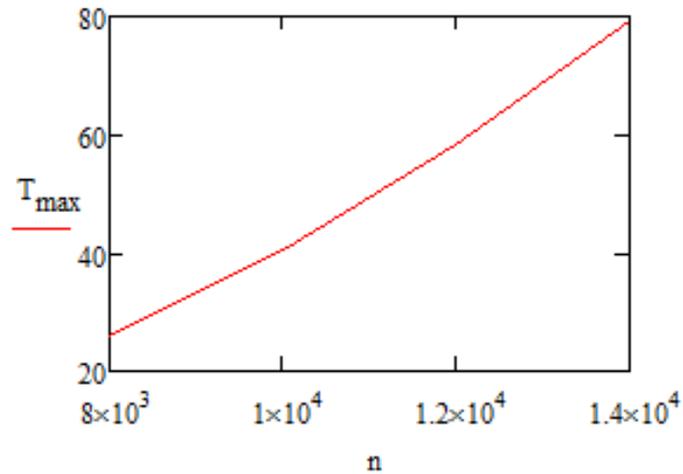


Рисунок 2.9 – Зависимость натяжения нити от частоты вращения веретен

Максимальное натяжение нити при сматывании почти линейно возрастает с увеличением частоты вращения веретен.

Выводы по второй главе

1. В качестве основного компонента неоднородной комбинированной нити целесообразно использовать нити Русар-С линейной плотности 14,3 и 29,4 текс (данная нить является самой прочной среди отечественных представителей класса арамидов), а в качестве обкручивающего компонента – арселоновую пряжу линейной плотности 29,4 текс, дополняющую по свойствам стержневую нить. Выбор сырья обусловлен тем, что проектируемая комбинированная нить предназначена для переработки в ткань для пошива защитной одежды. Такая ткань, в свою очередь, должна быть по возможности максимально тонкой при сохранении в ней всех положительных свойств нитей.
2. Испытания исходных материалов по основным характеристикам показали, что по отдельности нити и пряжа обладают неудовлетворительными показателями неравновесности.
3. Разработана оптимальная структура неоднородной комбинированной нити, при которой стержневой компонент – нить Русар-С – дважды обкручивается арселоновой пряжей (в двух противоположных направлениях). Таким образом, готовая комбинированная нить получается равновесной, что способствует хорошей переработке в ткань. Кроме того, комбинированная нить такой структуры лучше окрашивается за счет более плотного застила нити Русар-С арселоновой пряжей.
4. Анализ существующего обкруточного оборудования показал, что для получения неоднородной комбинированной нити предложенной структуры подходит итальянская машина Menegatto 1500/270/2003NG.
5. На основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити; проведен расчет натяжения, определяющего структуру комбинированных нитей с прямолинейным расположением внутреннего компонента.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Получение образцов комбинированных нитей, результаты их испытаний по основным характеристикам

Образцы неоднородных комбинированных нитей нарабатывали на обкруточной машине Menegatto 1500/270/2003NG. Готовые обкрученные нити перематывали на товарную паковку на машине PW1-W.

При наработке комбинированных нитей в качестве стержневого компонента использовали комплексные нити Русар-С (КР) линейной плотности 14,3 и 29,4 текс, а в качестве обкручивающего компонента – арселоновую пряжу (ПА) линейной плотности 29,4 текс. Соответствующие сокращения для исследуемых ассортиментных позиций: КР 14,3 + 2ПА 29,4 и КР 29,4 + 2ПА 29,4.

Комбинированные нити нарабатывали в соответствии с пятью вариантами числа обкручиваний: 220, 290, 360, 430 и 500 обкр/м. Фотографии полученных нитей представлены на рисунках 3.1 и 3.2: участки желтого цвета – стержневая нить Русар-С, участки оранжевого цвета – обкручивающая арселоновая пряжа.

Наработанные образцы комбинированных нитей подвергли ряду испытаний с целью определения абсолютной разрывной нагрузки, удлинения при разрыве, линейной плотности, удельной разрывной нагрузки, разрывной нагрузки в петле и в узле, числа обкручиваний арселоновой пряжей с нижнего и верхнего веретен, неравновесности, жесткости при кручении.

По каждому показателю было выполнено 30 испытаний. Все испытания проводили по стандартным методикам на типовых приборах и стендах в лаборатории кафедры.

Полученные результаты были обработаны в программе Excel. Средние значения показателей представлены в таблицах 3.1 и 3.2. [6; 71; 72] Для всех средних значений были посчитаны абсолютные и относительные доверительные ошибки [73].

а) Число обкручиваний 220 обкр/м



б) Число обкручиваний 290 обкр/м



в) Число обкручиваний 360 обкр/м



г) Число обкручиваний 430 обкр/м

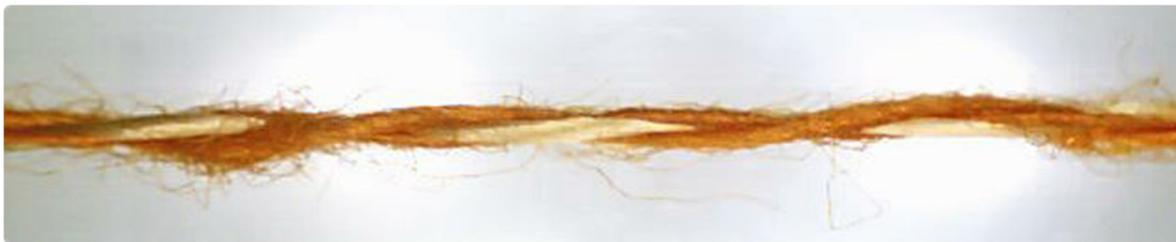


д) Число обкручиваний 500 обкр/м



Рисунок 3.1 – Фотографии наработанных образцов неоднородных нитей с различным числом обкручиваний (КР 14,3 + 2ПА 29,4)

а) Число обкручиваний 220 обкр/м



б) Число обкручиваний 290 обкр/м



в) Число обкручиваний 360 обкр/м



г) Число обкручиваний 430 обкр/м



д) Число обкручиваний 500 обкр/м



Рисунок 3.2 – Фотографии наработанных образцов неоднородных нитей с различным числом обкручиваний (КР 29,4 + 2ПА 29,4)

Таблица 3.1 – Основные характеристики неоднородных комбинированных нитей (КР 14,3 + 2ПА 29,4)

Показатели	К = 220 обкр/м		К = 290 обкр/м		К = 360 обкр/м		К = 430 обкр/м		К = 500 обкр/м	
	Ср (среднее значение)	$K_{\text{вар}}$ (коэфф. вариации)								
Абсолютная разрывная нагрузка, Н	37,66	6,12	37,74	5,44	37,51	5,98	37,10	5,71	36,86	5,99
Удлинение при разрыве, %	4,92	7,96	5,02	6,58	4,96	9,21	4,80	10,29	4,64	7,61
Линейная плотность, текс	75,36	6,25	82,00	6,28	87,20	7,40	91,00	7,81	97,28	7,13
Удельная разрывн. нагрузка, сН/текс	50,19	9,49	46,03	5,89	43,04	10,28	40,88	9,54	38,09	8,70
Неравновесность, в/м	0,67	40,22	0,72	18,36	0,74	40,09	0,76	56,36	0,83	38,91
Число обкр. с нижн. веретена, обкр/м	222,90	2,43	291,40	1,71	366,00	2,83	434,20	2,23	502,40	2,58
Число обкр. с верхн. веретена, обкр/м	222,30	2,46	291,50	1,82	366,00	2,71	434,20	2,02	502,40	2,30
Жесткость при кручении, у.е.	21,38	15,01	24,37	7,64	27,47	10,08	30,71	8,97	31,69	11,66
Разрывная нагрузка в петле, Н	15,43	5,24	15,90	7,39	15,71	10,56	15,42	5,17	15,11	7,25
Разрывная нагрузка в узле, Н	23,55	7,28	23,97	6,99	23,68	8,06	23,41	5,26	23,09	7,16

Таблица 3.2 – Основные характеристики неоднородных комбинированных нитей (КР 29,4 + 2ПА 29,4)

Показатели	К = 220 обкр/м		К = 290 обкр/м		К = 360 обкр/м		К = 430 обкр/м		К = 500 обкр/м	
	Ср (среднее значение)	$K_{\text{вар}}$ (коэфф. вариации)								
Абсолютная разрывная нагрузка, Н	75,61	2,73	75,70	4,97	76,45	5,36	74,24	3,79	70,67	4,16
Удлинение при разрыве, %	3,57	6,20	3,55	6,21	3,58	6,79	3,49	5,01	3,35	4,97
Линейная плотность, текс	87,04	3,59	88,36	4,70	95,12	3,09	104,12	6,12	106,96	3,86
Удельная разрывн. нагрузка, сН/текс	84,01	2,73	84,12	4,97	84,94	5,36	82,49	3,79	78,52	4,16
Неравновесность, в/м	0,53	8,87	0,55	9,37	0,57	4,38	0,61	19,10	0,62	20,00
Число обкр. с нижн. веретена, обкр/м	220,40	4,36	289,80	2,12	360,40	1,76	431,80	1,06	499,00	0,68
Число обкр. с верхн. веретена, обкр/м	220,40	4,12	289,80	2,17	360,40	1,52	431,80	1,06	499,00	0,77
Жесткость при кручении, у.е.	25,70	9,76	29,18	7,91	31,32	7,16	35,08	10,39	37,72	5,56
Разрывная нагрузка в петле, Н	31,34	4,72	31,79	5,03	31,48	4,46	31,03	4,36	30,69	3,05
Разрывная нагрузка в узле, Н	39,34	9,34	40,08	9,37	39,57	4,71	38,98	2,79	38,43	3,05

3.2. Обработка результатов эксперимента, получение математических моделей

В настоящее время рациональным средством организации научно-исследовательских работ, сокращения расходов и сроков их проведения являются математико-статистические методы планирования эксперимента. К их числу в первую очередь относятся методы математического моделирования технологических процессов, в частности методы получения математических моделей и их исследование с помощью современных ЭВМ. Данные методы позволяют получить математические модели исследуемого процесса в реализованном диапазоне изменения многих факторов, влияющих на процесс, наиболее экономичным и эффективным способом. Эффективность исследования во многом зависит также от применения современных средств измерения параметров, характеризующих процесс и вырабатываемый продукт. [74; 75]

Целью данного раздела является анализ процесса производства неоднородных комбинированных нитей с помощью методов математического моделирования эксперимента. С этой целью были предложены линейная и параболическая регрессионные однофакторные математические модели при традиционном планировании активного эксперимента. [76; 77] Основным фактором при производстве комбинированных нитей явилось число обкручиваний комплексной нити Русар-С арселоновой пряжей, менявшееся от 220 до 500 обкр/м. Таким образом, число уровней фактора $N = 5$. Для повышения точности выходных параметров каждый опыт проводили по два раза, т.е. число повторностей $m = 2$. Исследовали влияние числа обкручиваний на изменение следующих параметров: абсолютную разрывную нагрузку, удлинение при разрыве, линейную плотность, удельную разрывную нагрузку, разрывную нагрузку в петле и в узле, неравновесность, жесткость при кручении.

В ходе выработки комбинированных нитей с применением комплексных нитей Русар-С линейной плотности 14,3 и 29,4 текс в качестве стержневого компонента и арселоновой пряжи линейной плотности 29,4 текс в качестве

обкручивающего компонента использовали активный однофакторный эксперимент.

В таблице 3.3 представлены результаты активного однофакторного технологического эксперимента по основным показателям для обкрученной нити КР 14,3 + 2ПА 29,4, в таблице 3.4 – для обкрученной нити КР 29,4 + 2ПА 29,4.

За входной параметр X_u взято число обкручиваний, обкр/м (которое принимает значения: 220, 290, 360, 430, 500), а за выходные Y_{ui} – следующие характеристики: абсолютная разрывная нагрузка, Н; удлинение при разрыве, %; линейная плотность, текс; удельная разрывная нагрузка, сН/текс; неравновесность, в/м; жесткость при кручении, у.е.; разрывная нагрузка в петле и в узле, Н.

Для проверки гипотезы об однородности дисперсий [73] используют критерий Кочрена, определяемый по формуле:

$$G_R = \frac{S_{u \max}^2 \{Y\}}{\sum_{u=1}^N S_u^2 \{Y\}}. \quad (3.1)$$

Значение G_R , полученное в среде MathCAD (таблицы 3.5 и 3.6), сравнивают с табличным значением G_T , которое определяют по справочнику в зависимости от числа опытов в матрице N и числа степеней свободы дисперсии при заданной доверительной вероятности:

$$G_T [p_D = 0,95; N = 5; f_m = 2 - 1 = 1] = 0,8412.$$

Так как расчетные значения $G_R < G_T = 0,8412$, то гипотеза об однородности дисперсий, т.е. равнозначности и воспроизводимости опытов, не отвергается.

Таблица 3.3 – Результаты активного однофакторного технологического эксперимента по основным показателям (ассортиментная позиция КР 14,3 + 2ПА 29,4)

u	X _u	Абсолютн. разрывная нагрузка, Н		Удлинение при разрыве, %		Линейная плотность, текс		Удельная разрывная нагрузка, сН/текс		Неравновесность в/м		Жесткость при кручении, у.е.		Разрывная нагрузка в петле, Н		Разрывная нагрузка в узле, Н	
		Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}
1	220	37,70	37,62	4,94	4,90	76,08	74,64	49,35	51,03	0,66	0,68	20,95	21,81	15,75	15,11	23,42	23,69
2	290	37,88	37,61	5,05	4,99	81,48	82,52	45,23	46,83	0,70	0,74	23,70	25,04	16,42	15,38	23,87	24,06
3	360	37,53	37,50	4,98	4,92	87,52	86,88	43,56	42,52	0,75	0,73	26,70	28,24	15,53	15,89	23,80	23,57
4	430	36,97	37,22	4,77	4,83	91,04	90,96	40,76	41,00	0,77	0,74	30,36	31,06	15,55	15,28	23,37	23,46
5	500	36,85	36,87	4,62	4,64	96,52	98,04	38,68	37,50	0,81	0,85	32,20	31,18	15,48	14,75	22,97	23,21

Таблица 3.4 – Результаты активного однофакторного технологического эксперимента по основным показателям (ассортиментная позиция КР 29,4 + 2ПА 29,4)

u	X _u	Абсолютн. разрывная нагрузка, Н		Удлинение при разрыве, %		Линейная плотность, текс		Удельная разрывная нагрузка, сН/текс		Неравновесность в/м		Жесткость при кручении, у.е.		Разрывная нагрузка в петле, Н		Разрывная нагрузка в узле, Н	
		Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}
1	220	76,32	75,09	3,63	3,48	86,96	87,12	84,36	83,44	0,53	0,54	25,94	25,46	31,30	31,37	39,19	39,49
2	290	75,36	75,84	3,56	3,55	87,04	89,68	83,73	84,27	0,54	0,56	29,02	29,34	31,28	32,31	39,49	40,66
3	360	77,51	75,63	3,56	3,58	96,32	93,92	86,13	84,04	0,56	0,57	31,73	30,91	31,64	31,32	39,74	39,40
4	430	72,46	75,86	3,44	3,51	105,12	103,12	80,51	84,29	0,60	0,62	35,58	34,57	31,55	30,50	39,46	38,51
5	500	73,09	68,30	3,39	3,33	106,88	107,04	75,89	81,21	0,61	0,63	38,17	37,28	30,67	30,71	38,30	38,55

Для проверки гипотезы об адекватности полученной математической модели [73] используют критерий Фишера, определяемый по формуле:

$$F_R = \frac{S_{(2)}^2 \{Y\}}{S_{(1)}^2 \{Y\}}. \quad (3.2)$$

Значение F_R , полученное в программе Excel (таблицы 3.5 и 3.6), сравнивают с табличным значением F_T , которое определяют по справочнику в зависимости от числа степеней свободы дисперсий при заданной доверительной вероятности:

$$F_T \left[p_D = 0,95; f \{S_{(1)}^2\} = 5; f \{S_{(2)}^2\} = 3 \right] = 9,01.$$

Так как расчетные значения $F_R < F_T = 9,01$, то гипотеза об адекватности математических моделей не отвергается.

Таблица 3.5 – Критерий Кочрена и критерий Фишера (КР 14,3 + 2ПА 29,4)

Абсолютн. разрывная нагрузка	Удлинение при разрыве	Линейная плотность	Удельная разрывная нагрузка	Неравновесность	Жесткость при кручении	Разрывн. нагрузка в петле	Разрывн. нагрузка в узле
G_R	G_R	G_R	G_R	G_R	G_R	G_R	G_R
0,508	0,281	0,393	0,357	0,327	0,368	0,486	0,318
F_R	F_R	F_R	F_R	F_R	F_R	F_R	F_R
1,22	1,18	2,36	1,06	1,33	1,79	2,76	2,34

Таблица 3.6 – Критерий Кочрена и критерий Фишера (КР 29,4 + 2ПА 29,4)

Абсолютн. разрывная нагрузка	Удлинение при разрыве	Линейная плотность	Удельная разрывная нагрузка	Неравновесность	Жесткость при кручении	Разрывн. нагрузка в петле	Разрывн. нагрузка в узле
G_R	G_R	G_R	G_R	G_R	G_R	G_R	G_R
0,577	0,710	0,415	0,588	0,286	0,362	0,485	0,539
F_R	F_R	F_R	F_R	F_R	F_R	F_R	F_R
4,93	5,94	6,29	5,81	1,33	1,11	2,97	1,99

Ниже приведены уравнения полученных математических моделей:

линейная плотность (КР 14,3 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = 0,0752X_u + 59,241;$$

линейная плотность (КР 29,4 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = 0,0796X_u + 67,634;$$

неравновесность (КР 14,3 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = 0,0005X_u + 0,5583;$$

неравновесность (КР 29,4 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = 0,0003X_u + 0,4522;$$

жесткость при кручении (КР 14,3 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = 0,0384X_u + 13,16;$$

жесткость при кручении (КР 29,4 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = 0,0428X_u + 16,372;$$

разрывная нагрузка в петле (КР 14,3 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = -2 \cdot 10^{-5} X_u^2 + 0,0162X_u + 13,11;$$

разрывная нагрузка в петле (КР 29,4 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = -3 \cdot 10^{-5} X_u^2 + 0,0156X_u + 29,246;$$

разрывная нагрузка в узле (КР 14,3 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = -2 \cdot 10^{-5} X_u^2 + 0,0136X_u + 21,675;$$

разрывная нагрузка в узле (КР 29,4 + 2ПА 29,4):

$$Y_u = -4 \cdot 10^{-5} X_u^2 + 0,0244X_u + 36,026.$$

Подробные расчеты приведены в приложении А на примере показателя неравновесности. Исследование абсолютной разрывной нагрузки, удлинения при разрыве и удельной разрывной нагрузки приведены в главе 4.

3.3. Исследование влияния числа обкручиваний на основные показатели комбинированных нитей

На основании полученных результатов эксперимента были построены графики, отражающие зависимости основных показателей (линейной плотности, неравновесности, жесткости при кручении, разрывной нагрузки в петле и в узле) от числа обкручиваний. На каждом графике светлой линией показана тенденция для ассортиментной позиции КР 14,3 + 2ПА 29,4, темной линией – для ассортиментной позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4 (рисунки 3.3 – 3.7).

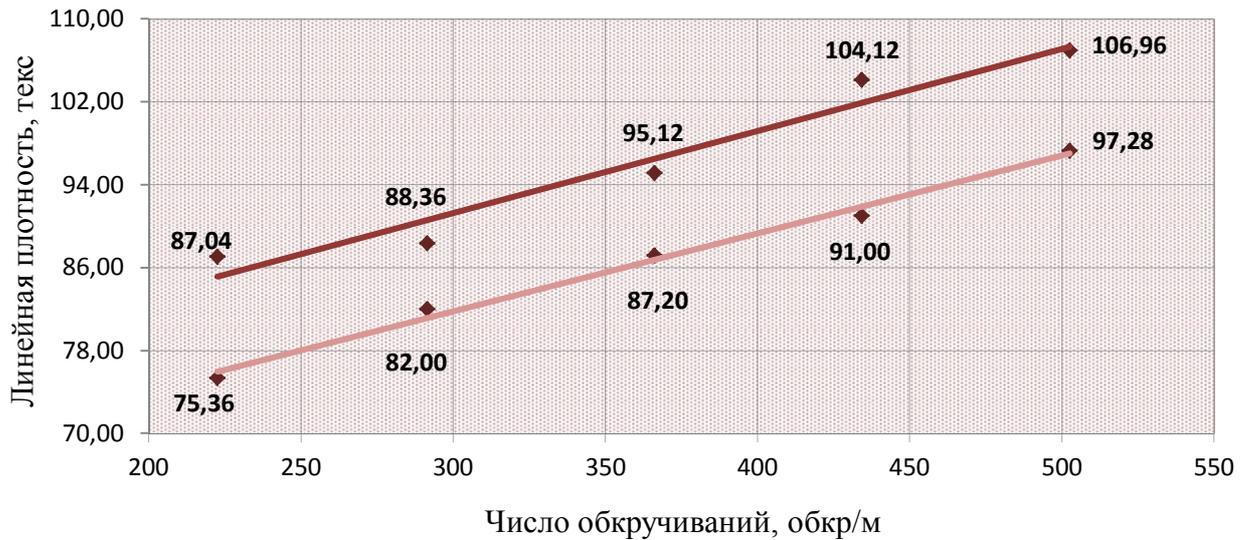


Рисунок 3.3 – График зависимости линейной плотности комбинированной нити от числа обкручиваний

Представленные на рисунке 3.3 зависимости показывают, что с увеличением числа обкручиваний линейная плотность комбинированной нити в исследуемом диапазоне возрастает на 29,09 и 22,89 % соответственно за счет роста массы обкручивающего компонента.

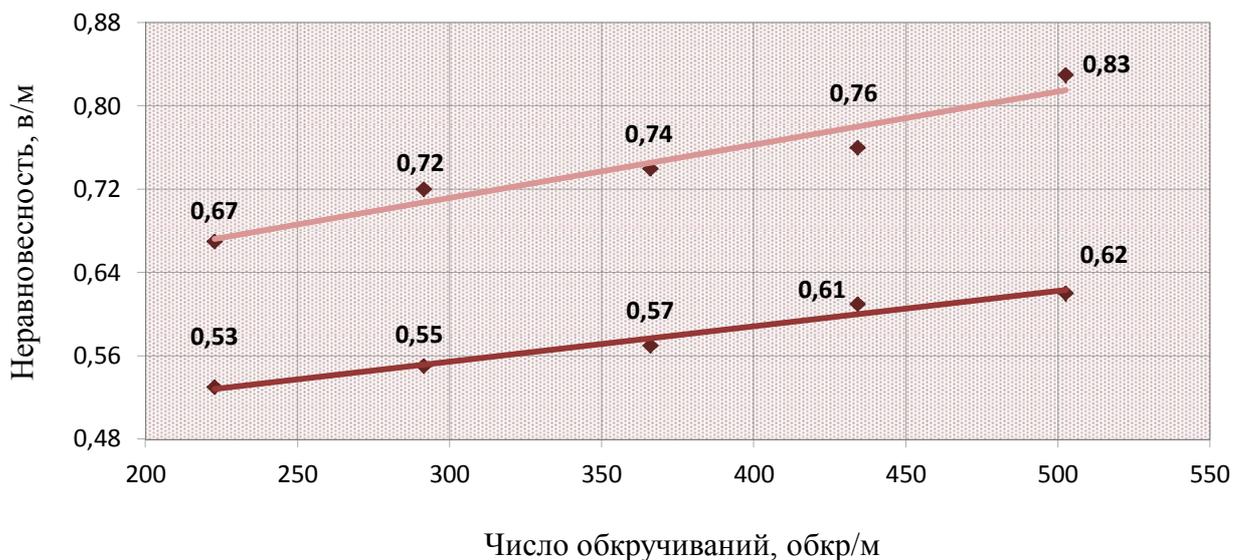


Рисунок 3.4 – График зависимости показателя неравновесности комбинированной нити от числа обкручиваний

Представленные на рисунке 3.4 зависимости свидетельствуют о том, что при увеличении числа обкручиваний показатель неравновесности нити практически не изменяется, т.е. колеблется в пределах одного витка на метр.

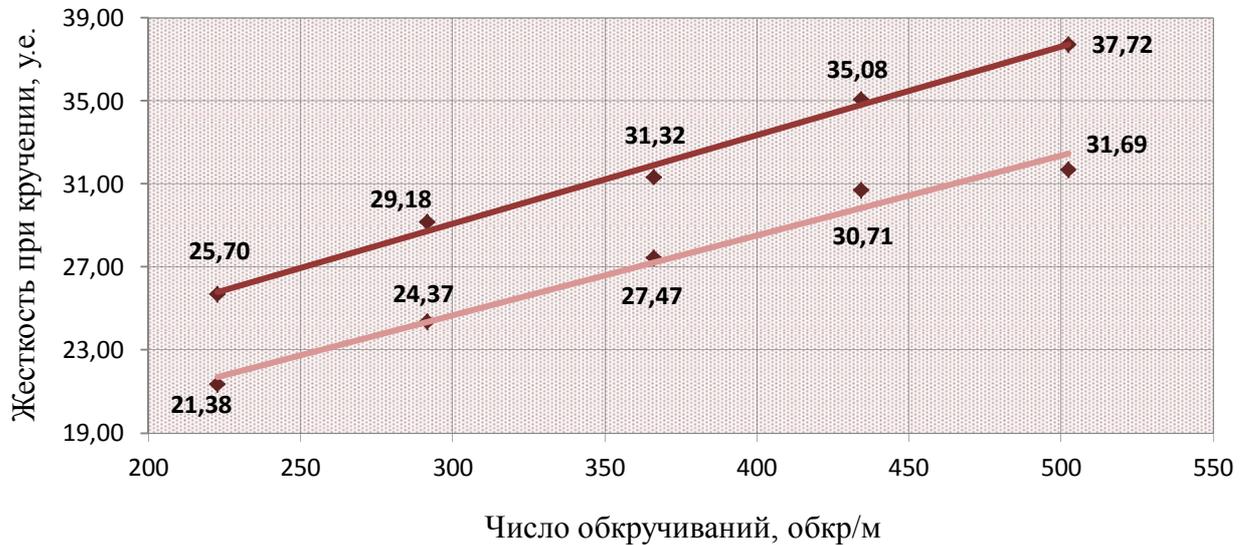


Рисунок 3.5 – График зависимости жесткости комбинированной нити при кручении от числа обкручиваний

Представленные на рисунке 3.5 зависимости показывают, что с увеличением числа обкручиваний жесткость нити при кручении возрастает на 48,22 и 46,77 % соответственно за счет роста линейной плотности.

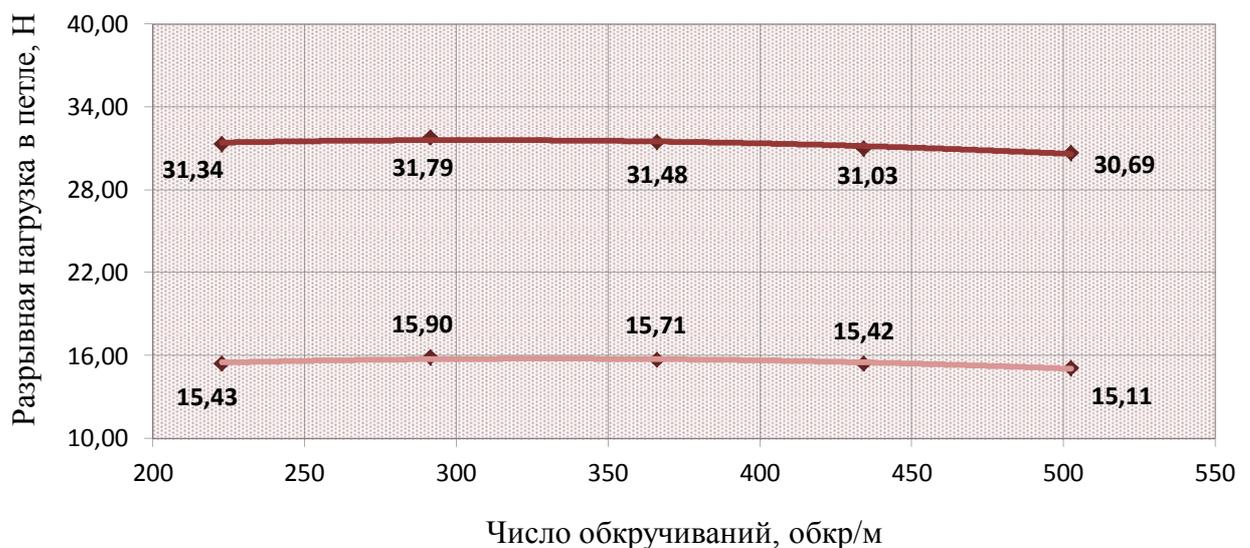


Рисунок 3.6 – График зависимости разрывной нагрузки комбинированной нити в петле от числа обкручиваний

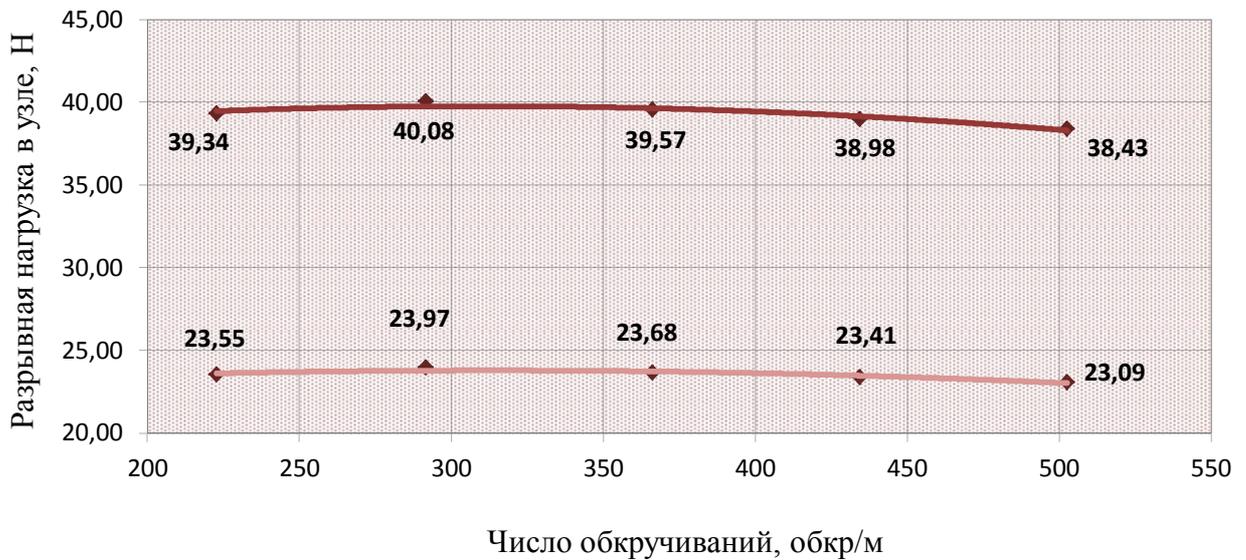


Рисунок 3.7 – График зависимости разрывной нагрузки комбинированной нити в узле от числа обкручиваний

Представленные на рисунках 3.6 и 3.7 зависимости свидетельствуют о том, что разрывная нагрузка в петле и в узле изменяется незначительно и колеблется в пределах 5,23 и 3,81 % соответственно для позиции КР 14,3 + 2ПА 29,4; 3,58 и 4,29 % соответственно для позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4 (что превышает относительные доверительные ошибки средних значений). Здесь важно отметить, что указанные показатели ниже абсолютной разрывной нагрузки (таблицы 3.1 и 3.2). Это объясняется тем, что нить Русар-С довольно хрупкая на изгиб, что приводит к существенной потере прочности.

В результате выполненных испытаний для наработанных ассортиментных позиций установлено оптимальное число обкручиваний, равное 360 обкр/м, при котором наблюдаются высокие прочностные показатели и очень низкий показатель неравновесности.

На основании проделанной исследовательской работы подготовлен проект технических условий ТУ-4798-001-02066457-2014, приведенный в приложении Б.

3.4. Получение образцов тканых лент. Результаты испытаний лент на устойчивость окраски к свету

Убедившись в том, что оптимальное число обкручиваний составляет 360 обкр/м, изготовили образцы тканых лент различной плотности по утку (от 90 до 100 нитей/10 см). Для этого предварительно наработали достаточное количество комбинированной нити позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4 с числом обкручиваний 360 обкр/м на машине Menegatto 1500/270/2003NG, установленной в ЗАО «Клинское производственное текстильно-галантерейное объединение» (г. Клин Московской обл.). Акт о наработке представлен в приложении В.

Образцы тканых лент нарабатывали на ткацком ленточном бесчелночном станке (ТЛБ), установленном в ООО «Техноткани» (Москва). Акт о переработке нитей в тканые ленты представлен в приложении Г.

Установив геометрические параметры тканых лент, определяли устойчивость окраски к свету в ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» (Москва). Для этого сначала произвели окрашивание образцов в зеленый цвет в соответствии с разработанными рецептурами крашения, после чего подвергли их непрерывному воздействию инсоляции в течение 100 час.

Результаты испытаний показали, что устойчивость окраски к свету составляет 3-4 балла, что является удовлетворительным. [78]

Определив устойчивость окраски к свету, образцы тканых лент подвергли испытаниям на устойчивость к истиранию по плоскости. Для проведения эксперимента использовали прибор ИТ-3М-1. [79] Результаты исследования (таблица 3.7) показали, что устойчивость к истиранию по плоскости тем выше, чем больше плотность ткани по утку.

Фотографии образцов, подвергшихся испытаниям на устойчивость к истирающим нагрузкам, представлены на рисунках 3.8 – 3.10.

Таблица 3.7 – Характеристики наработанных тканых лент

Образец	Длина, см	Ширина, см	Плотность по утку, нитей/10 см	Плотность по основе, нитей/10 см	Устойчивость окраски к свету, баллы	Среднее значение устойчивости к истиранию по плоскости, циклы
1	79,0	19,3	90	184	3	21 252
2	62,0	19,2	95	184	3-4	25 380
3	34,0	19,0	100	184	3	27 518

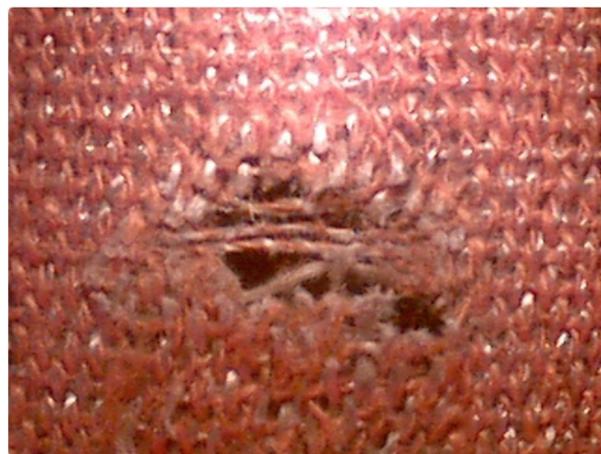
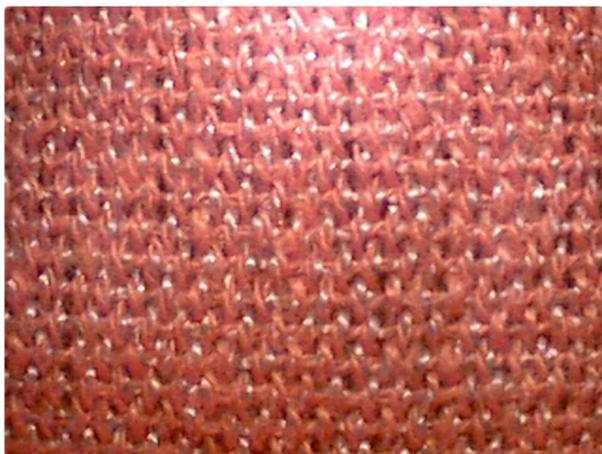


Рисунок 3.8 – Образец тканой ленты с плотностью по утку 90 нитей/10 см до проведения испытания (слева) и после него (справа)

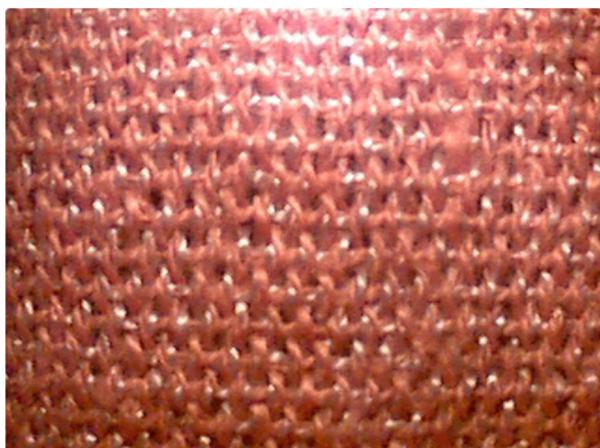


Рисунок 3.9 – Образец тканой ленты с плотностью по утку 95 нитей/10 см до проведения испытания (слева) и после него (справа)

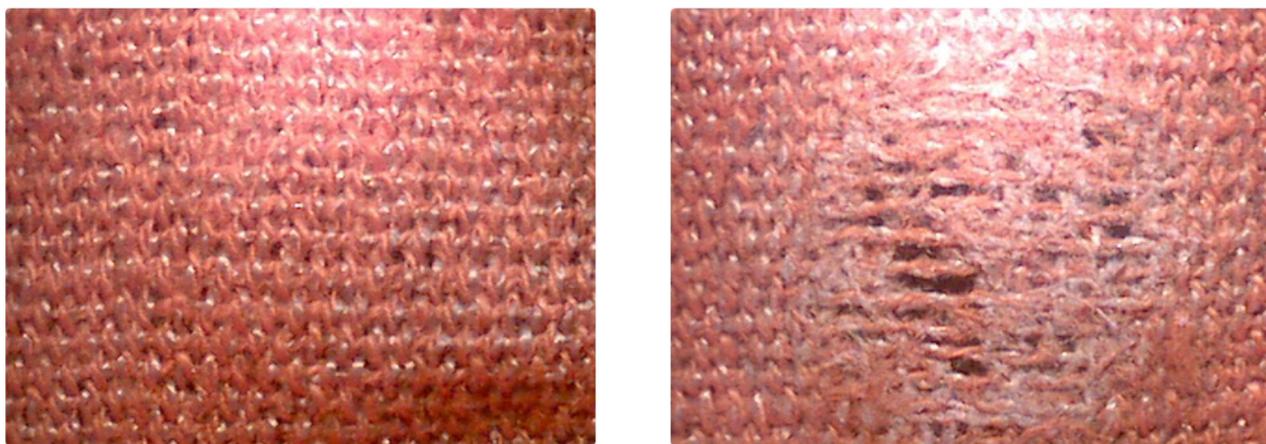


Рисунок 3.10 – Образец тканой ленты с плотностью по утку 100 нитей/10 см до проведения испытания (слева) и после него (справа)

На полученных фотографиях видно, что тканые ленты истираются преимущественно по основе, нити утка повреждаются меньше. Связано это с тем, что в процессе выработки уточные нити натянуты больше, и уработка ткани происходит за счет нитей основы, которые, выступая на поверхность ленты, истираются быстрее.

Для образца тканой ленты с плотностью по утку 90 нитей/10 см были проведены испытания на прочность на разрывной машине TIRAtest-2200, установленной в испытательной лаборатории ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности» (Москва). Средние значения разрывной нагрузки составили 1870,4 и 1311,1 Н по основе и по утку соответственно; средние значения удлинения при разрыве – 29,28 и 11,56 % по основе и по утку соответственно.

Важно указать, что по исследуемым показателям ленты ткани превосходят материалы, соответствующие требованиям безопасности ТР ТС 019/2011. [80]

При создании защитной одежды из тканей на основе исследуемых нитей целесообразно использовать соответствующие швейные нитки 120 КШН КР-КА, 120 КШН КР-ПрА аналогичного сырьевого состава (комплексная нить Русар-С и арселоновая пряжа или арселоновая нить). Обладая улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, указанные швейные

нити дают положительные результаты при пошиве технических изделий. [81; 82; 83; 84]

В ходе исследований заказчиком было отмечено, что выработанные тканые ленты обладают повышенной жесткостью и плохой драпируемостью, вследствие чего встал вопрос о снижении линейной плотности комбинированных нитей. В качестве нового обкручивающего компонента была взята пряжа (также из волокон Арселон-С) линейной плотности 25 текс производства VÚB a.s. (Чехия) [85], а в качестве стержневого – нить Русар-С линейной плотности 14,3 текс.

3.5. Получение образцов комбинированных нитей с использованием импортного сырья

Для наработки образцов был использован стенд обкруточной машины [76], позволяющий получать комбинированную нить заданной структуры и имеющий гибкую регулировку параметров для изменения степени обкручивания стержневой нити нагонными компонентами в широких пределах. Технологическая схема стенда обкруточной машины показана на рисунке 3.11.

На горизонтальную шпильку кронштейна, расположенного в нижней части стенда обкруточной машины, устанавливается паковка со стержневой нитью 1. Предварительное натяжение комплексной нити Русар-С перед поступлением ее в зону обкручивания арселоновой пряжей сообщается с помощью нитенатяжителя 2. Далее стержневая нить проходит через полые шпиндели веретен нижнего 4 и верхнего 7 ярусов и крючки баллоноограничителей 5 и 8. В процессе работы комплексная нить Русар-С обкручивается арселоновой пряжей с катушек 3 и 6. С целью создания равномерного покрытия и равновесной структуры веретена 4 и 7 имеют противоположное направление вращения. С помощью фрикционного цилиндра 9 с винтовым пазом (мотальный барабанчик) готовая обкрученная нить наматывается на бумажный или пластмассовый патрон 10. Выходная паковка закрепляется в пазах кронштейна и с помощью пружинного упора прижимается к фрикционному цилиндру. [76]

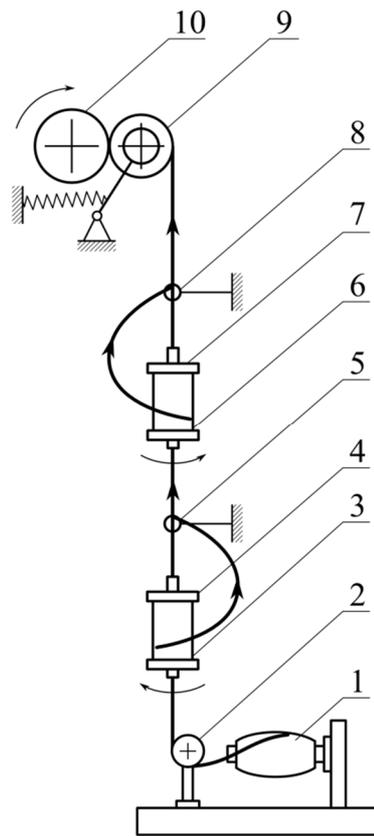


Рисунок 3.11 – Технологическая схема станда обкруточной машины

Поскольку вырабатываемая комбинированная нить практически нерастяжима, питающее и выпускное устройства при наработке образцов не используют. Число обкручиваний стержневой нити Русар-С арселоновой пряжей регулируется как с помощью ступенчатых шкивов в передаче движения к наматывающим устройствам, так и с помощью сменных шкивов в передаче движения к полым веретенам.

Комбинированные нити с использованием импортного обкручивающего компонента (арселоновая пряжа линейной плотности 25 текс) и комплексной нити Русар-С линейной плотности 14,3 текс наработывали в соответствии с пятью вариантами числа обкручиваний: 306, 356, 428, 504 и 581 обкр/м. Обкручивание производили в двух противоположных направлениях: сначала – по часовой стрелке (Z), а затем – против часовой стрелки (S).

Для наработки комбинированных нитей арселоновую пряжу предварительно перематывали с товарных паковок на специальные катушки,

соответствующие направлениям вращения верхних и нижних веретен, с помощью перемоточной машины СПН-2-1.

3.6. Результаты испытаний новой ассортиментной позиции.

Анализ влияния числа обкручиваний на основные показатели комбинированных нитей

Перед наработкой образцов комбинированных нитей арселоновую пряжу линейной плотности 25 текс подвергли испытаниям по основным показателям, для каждого из которых было выполнено 30 замеров (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Основные характеристики исходных нитей и пряжи

Показатели \ Вид нити	Нить Русар-С, 14,3 текс		Арселоновая пряжа, 25 текс	
	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)
Абсолютная разрывная нагрузка, Н	32,57	8,43	3,37	11,94
Удлинение при разрыве, %	3,36	7,76	16,80	13,93
Линейная плотность, текс	14,39	12,02	26,04	4,72
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	226,34	17,61	12,94	7,49
Неравновесность, в/м	1,37	69,12	12,50	23,48
Крутка, кр/м	99,20	3,84	783,00	4,93
Жесткость при кручении, у.е.	3,19	1,83	4,33	9,02
Разрывная нагрузка в петле, Н	12,91	5,23	3,75	8,59
Разрывная нагрузка в узле, Н	9,59	5,21	3,72	10,01

Наработанные комбинированные нити ассортиментной позиции КР 14,3 + 2ПА 25 подвергли тем же испытаниям, что и ранее полученные образцы

КР 14,3 + 2ПА 29,4 и КР 29,4 + 2ПА 29,4. Делали аналогично 30 замеров для каждого показателя. Испытания проводили на тех же приборах и по тем же методикам. Результаты сведены в таблицу 3.9.

Для данной ассортиментной позиции комбинированных нитей, как и для двух предыдущих, был проведен активный однофакторный эксперимент, результаты которого представлены в таблицах 3.10 и 3.11. Ниже приведены уравнения полученных математических моделей:

линейная плотность (КР 14,3 + 2ПА 25):

$$Y_u = 0,047X_u + 55,76;$$

неравновесность (КР 14,3 + 2ПА 25):

$$Y_u = 0,0035X_u + 0,5092;$$

жесткость при кручении (КР 14,3 + 2ПА 25):

$$Y_u = 0,021X_u + 10,929;$$

разрывная нагрузка в петле (КР 14,3 + 2ПА 25):

$$Y_u = -2,256 \cdot 10^{-5} X_u^2 + 0,019 X_u + 10,009;$$

разрывная нагрузка в узле (КР 14,3 + 2ПА 25):

$$Y_u = -4 \cdot 10^{-5} X_u^2 + 0,0304 X_u + 15,763.$$

Таблица 3.9 – Основные характеристики неоднородных комбинированных нитей (КР 14,3 + 2ПА 25)

Показатели \ Номинальное число обкручиваний	К = 306 обкр/м		К = 356 обкр/м		К = 428 обкр/м		К = 504 обкр/м		К = 581 обкр/м	
	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)								
Абсолютная разрывная нагрузка, Н	35,12	5,69	35,42	3,85	35,59	5,91	35,38	4,79	34,70	6,12
Удлинение при разрыве, %	3,47	8,02	3,54	5,29	3,55	6,24	3,51	3,97	3,43	6,62
Линейная плотность, текс	69,32	3,41	72,09	2,21	74,64	3,35	79,08	2,43	80,68	3,07
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	50,66	6,07	49,13	6,24	47,68	5,12	44,74	3,06	43,01	5,36
Неравновесность, в/м	1,46	24,64	1,77	18,33	2,00	28,28	2,13	30,12	2,38	26,67
Число обкручиваний с нижнего веретена, обкр/м	294,00	9,84	352,57	18,28	400,35	4,67	469,75	6,17	548,52	6,13
Число обкручиваний с верхнего веретена, обкр/м	292,00	6,84	354,56	6,24	405,76	3,99	464,17	2,65	548,64	4,04
Жесткость при кручении, у.е.	17,33	4,63	18,28	6,44	18,76	2,91	21,13	6,17	22,42	6,13
Разрывная нагрузка в петле, Н	13,68	5,70	13,82	9,02	14,00	5,30	13,76	6,75	13,36	11,37
Разрывная нагрузка в узле, Н	21,39	11,17	21,76	11,30	22,03	10,49	21,52	11,31	21,09	10,84

Таблица 3.10 – Результаты активного однофакторного технологического эксперимента по основным показателям (ассортиментная позиция КР 14,3 + 2ПА 25)

u	X _u	Абсолютн. разрывная нагрузка, Н		Удлинение при разрыве, %		Линейная плотность, текс		Удельная разрывная нагрузка, сН/текс		Неравновесность в/м		Жесткость при кручении, у.е.		Разрывная нагрузка в петле, Н		Разрывная нагрузка в узле, Н	
		Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}	Y _{u1}	Y _{u2}
1	306	35,09	35,15	3,48	3,46	69,11	69,54	50,82	50,50	1,26	1,66	17,19	17,47	13,84	13,53	21,56	21,21
2	356	35,38	35,46	3,54	3,53	72,35	71,84	49,11	49,16	1,62	1,92	18,17	18,40	13,80	13,85	21,85	21,66
3	428	35,62	35,55	3,54	3,55	74,95	74,33	47,93	47,44	2,10	1,90	18,52	18,99	13,79	14,22	21,93	22,13
4	504	35,40	35,37	3,52	3,50	78,81	79,34	44,63	44,85	2,26	2,00	21,25	21,01	13,75	13,76	21,63	21,41
5	581	34,75	34,66	3,43	3,44	80,93	80,44	43,03	43,00	2,46	2,30	22,54	22,29	13,47	13,26	20,98	21,20

Таблица 3.11 – Критерий Кочрена и критерий Фишера (КР 14,3 + 2ПА 25)

Абсолютн. разрывная нагрузка	Удлинение при разрыве	Линейная плотность	Удельная разрывная нагрузка	Неравновесность	Жесткость при кручении	Разрывн. нагрузка в петле	Разрывн. нагрузка в узле
G _R	G _R	G _R	G _R	G _R	G _R	G _R	G _R
0,339	0,364	0,285	0,61	0,417	0,468	0,563	0,415
F _R	F _R	F _R	F _R	F _R	F _R	F _R	F _R
2,11	1,64	8,37	6,01	3,00	8,83	2,13	1,09

Так как расчетные значения $G_R < G_T = 0,8412$, равно как $F_R < F_T = 9,01$, то гипотезы об однородности дисперсий и адекватности математических моделей не отвергаются. [73]

Результаты испытаний комбинированных нитей свидетельствуют о том, что оптимальное число обкручиваний для третьей ассортиментной позиции составляет 428 обкр/м. Это обусловлено самым высоким показателем разрывной нагрузки и приемлемым показателем неравновесности при данном числе обкручиваний.

Графики зависимостей основных показателей комбинированных нитей от числа обкручиваний для позиции КР 14,3 + 2ПА 25 представлены в приложении Д.

3.7. Исследование исходных компонентов и комбинированных нитей на устойчивость к самоистиранию

В ходе исследований наработанные комбинированные нити трех ассортиментных позиций (КР 14,3 + 2ПА 29,4, КР 29,4 + 2ПА 29,4 и КР 14,3 + 2ПА 25), равно как и сырье (нити Русар-С линейной плотности 14,3 и 29,4 текс, арселоновая пряжа – 29,4 и 25 текс), подвергли испытаниям на устойчивость к самоистиранию. Эксперимент проводили на приборе ИПП [86] в лаборатории кафедры. Для каждого варианта выполнили 30 измерений.

Фотографии образцов комбинированных обкрученных нитей, подвергшихся испытанию на устойчивость к самоистиранию (на примере позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4), представлены на рисунках 3.12 – 3.19.

На фотографиях показано, что в процессе самоистирания в первую очередь разрушается стержневая составляющая, что происходит достаточно быстро. При этом обкручивающий компонент продолжает работать на истирание, несмотря на то, что с самого начала наблюдается такое явление, как «мшистость». [87] Характер разрушения объясняется тем, что нить Русар-С находится под большим натяжением, чем арселоновая пряжа (истирание происходит в поперечном направлении). В то же время обкручивающий компонент благодаря своей структуре (количеству и расположению волокон в поперечном сечении и осевом направлении пряжи при крутке 650-780 кр/м) и углу, под которым он

истирается, оказывается более устойчивым. Кроме того, в ходе самоистирания кончики волокон, выступающие на поверхность пряжи, при возникшем тесном взаимодействии переплетаются между собой, образуя дополнительные связи, препятствующие разрушению пряжи.

Результаты эксперимента сведены в таблицы 3.12 (для исходного сырья) и 3.13 (для готовых комбинированных нитей).



Рисунок 3.12 – Внешний вид комбинированной нити до проведения испытания



Рисунок 3.13 – Внешний вид комбинированной нити после 400 циклов истирания



Рисунок 3.14 – Внешний вид комбинированной нити после 1200 циклов истирания



Рисунок 3.15 – Внешний вид комбинированной нити после 3000 циклов истирания

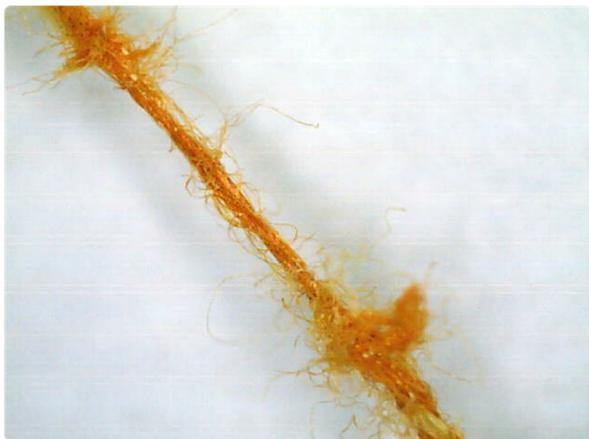


Рисунок 3.16 – Внешний вид
комбинированной нити
после 4200 циклов истирания



Рисунок 3.17 – Внешний вид
комбинированной нити
после 6200 циклов истирания



Рисунок 3.18 – Внешний вид
комбинированной нити
после 8600 циклов истирания



Рисунок 3.19 – Внешний вид
комбинированной нити
после разрушения (9625 циклов)

Таблица 3.12 – Устойчивость исходных компонентов комбинированной нити к самоистиранию

Ассортимент	Нить Русар-С, 14,3 текс	Нить Русар-С, 29,4 текс	Арселоновая пряжа, 25 текс	Арселоновая пряжа, 29,4 текс
Ср (среднее значение)	1299	1856	3006	3191
К _{вар} (коэфф. вариации)	15,07	12,49	30,91	24,11

Таблица 3.13 – Устойчивость неоднородных комбинированных нитей к самоистиранию в зависимости от числа обкручиваний

Число обкруч., обкр/м	КР 14,3 + 2ПА 29,4		КР 29,4 + 2ПА 29,4		Число обкруч., обкр/м	КР 14,3 + 2ПА 25	
	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)	Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)		Ср (среднее значение)	К _{вар} (коэфф. вариации)
220	4767	30,64	7148	32,67	306	4311	29,81
290	5166	33,95	7592	25,98	356	4632	29,41
360	5352	32,66	8259	28,08	428	5307	34,81
430	5519	23,50	8437	23,21	504	5563	35,05
500	5152	30,19	8069	29,87	581	5611	29,03

Математические зависимости, соответствующие результатам испытаний, представлены на рисунках 3.20-3.22.

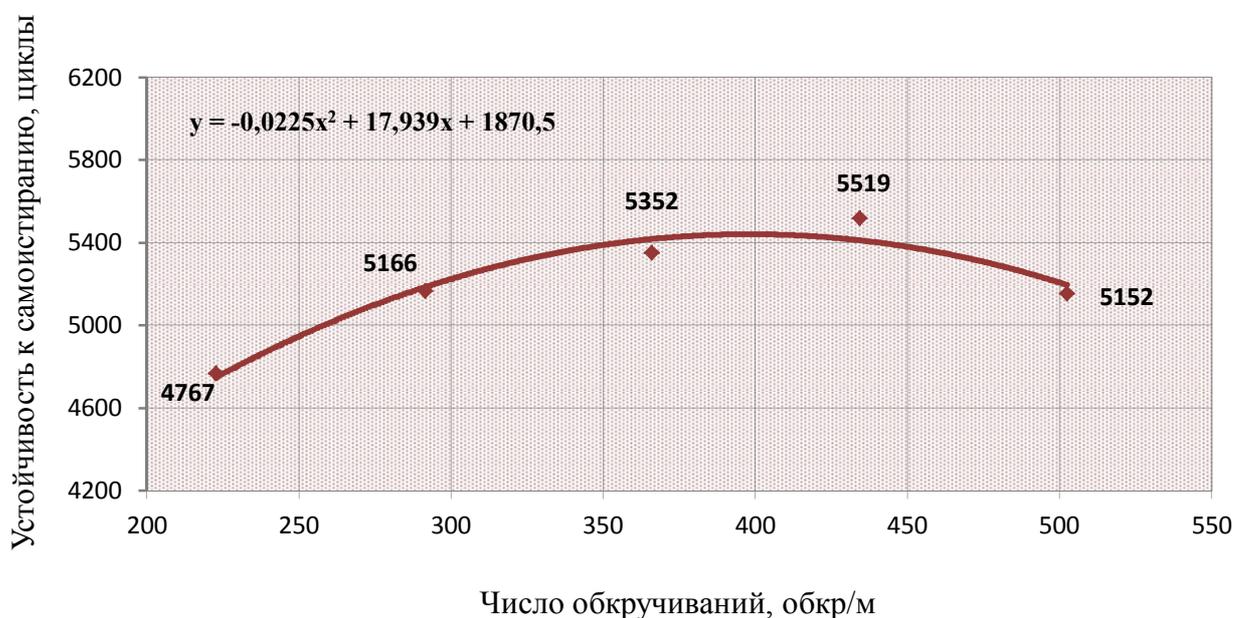


Рисунок 3.20 – График зависимости устойчивости комбинированных нитей к самоистиранию от числа обкручиваний для позиции КР 14,3 + 2ПА 29,4

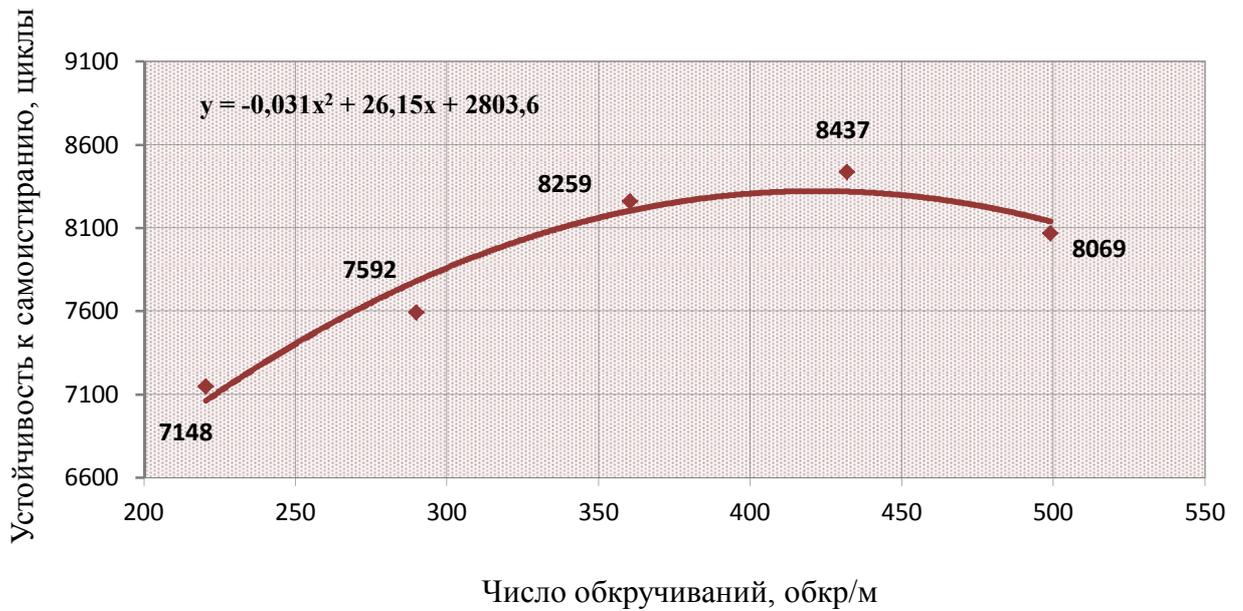


Рисунок 3.21 – График зависимости устойчивости
комбинированных нитей к самоистиранию
от числа обкручиваний для позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4

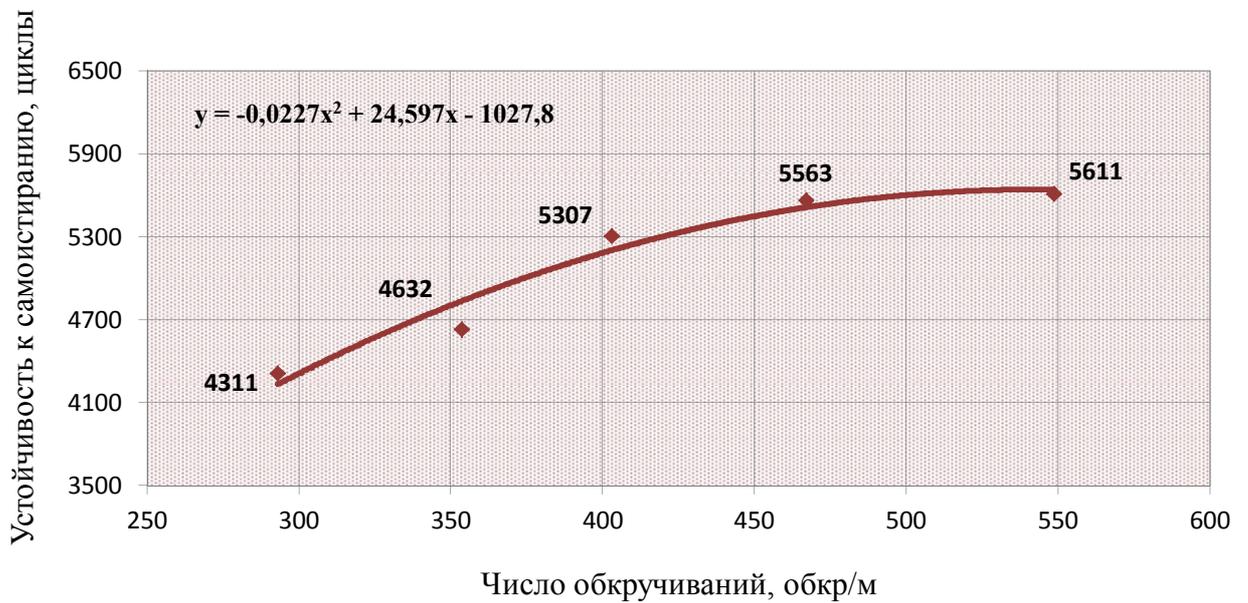


Рисунок 3.22 – График зависимости устойчивости
комбинированных нитей к самоистиранию
от числа обкручиваний для позиции КР 14,3 + 2ПА 25

Зависимости, представленные на рисунках 3.20-3.22, выявляют следующие закономерности: в первых двух случаях по мере увеличения числа обкручиваний сначала наблюдается повышение устойчивости к самоистиранию на 15,78 и 18,03 % соответственно, после чего происходит некоторое снижение данного показателя. На третьем графике с увеличением числа обкручиваний устойчивость к самоистиранию возрастает на 30,16 %.

3.8. Исследование жесткости при изгибе неоднородных комбинированных нитей

Одной из важнейших характеристик нитей, применяемых для изготовления тканей, является жесткость при изгибе. Именно этот параметр оказывает существенное влияние на процесс производства тканых полотен и их дальнейшую эксплуатацию.

Жесткость – способность тела сопротивляться изменению его формы под действием внешних сил. В зависимости от характера изменения формы, т.е. от типа приложенной деформации, различают три вида жесткости: при растяжении, при кручении и изгибе. [88]

Расчетные уравнения [70] упругой нити включают введенное Клебшем соотношение, основанное на пропорциональности кривизны нити $k = \frac{1}{\rho}$ изгибающему моменту M внутренних усилий:

$$M = Hk, \quad (3.3)$$

где H – жесткость нити при изгибе.

Точное значение кривизны определяется формулой $k = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$, в то

время как в линейной теории изгиба упругих нитей ввиду малости угловых

перемещений упругой линии принимается $k \approx \frac{d^2y}{dx^2}$. Точное выражение кривизны помимо написанного выражения можно записать в виде

$$k = \frac{d\vartheta}{ds}, \quad (3.4)$$

где s – длина дуги упругой линии, отсчитанная от некоторой точки, принятой за начало, ϑ – угол наклона касательной в текущей точке упругой линии. Тогда уравнение равновесия упругой линии при больших перемещениях записывается в форме [70]

$$\frac{d\vartheta}{ds} = \frac{M}{H}. \quad (3.5)$$

При изучении жесткости текстильных материалов чаще всего встречается задача в следующей постановке: нить длиной l сплошного круглого сечения диаметра d , защемленная одним концом, изгибается силой P_1 на другом конце.

Решение задачи поперечного изгиба для максимального прогиба дает $u = \frac{P_1 l^3}{3H}$.

Отсюда по известным из опыта величинам u , P_1 , l вычисляется жесткость H .

Сразу же возникает вопрос правомерности использования этой формулы для нахождения перемещений точек упругой нити, так как приведенная формула получена для малых перемещений и углов поворота, когда те и другие являются величинами примерно одного порядка. Для текстильных нитей, которые обладают жесткостью, значительно меньшей по сравнению с жесткостью элементов конструкций, взаимные перемещения частей нити не малы. Это обстоятельство приводит к необходимости специального исследования. [89] Идея вывода уравнений упругой линии при больших перемещениях основана на известной книге Е.П. Попова [90].

На рисунке 3.23 показана упругая линия, полученная при изгибе закрепленной консольно нити. [91; 92] На свободном конце приложена сосредоточенная сила P , перемещающаяся при изгибе поступательно, сохраняя перпендикулярность к первоначальной прямоугольной оси. По всей длине дуги s

упругой линии приложена распределенная силовая нагрузка $q(s)$, обусловленная весом нити. Введем систему координат xu , ориентированную по касательной и нормали к упругой линии в заделке, и систему $x'y'$, ориентированную по направлению силы, приложенной в начальной точке O . Для составления внутренних изгибающих моментов $M(s)$ разрежем упругую линию нити в произвольной точке $N(x, y)$ и рассмотрим равновесие $N1$ части упругой линии. Направление силы, приложенной в начальной точке O рассматриваемого участка нити, будем считать основным направлением. Тогда введем угол δ , отсчитываемый против часовой стрелки от направления силы P в точке O к оси x (в нашем случае $\delta=90^\circ$). На рисунке 3.23 показаны углы δ и φ в произвольной точке N . Угол φ выражается через текущий угол ϑ соотношением $\varphi = \vartheta + \delta$ и представляет собой угол наклона касательной упругой линии к оси x' . При этом кривизна, определяемая формулой (3.4), равна $k = \frac{d\vartheta}{ds} = \frac{d\varphi}{ds}$.

Вектор силы P_q уравнивает распределенную нагрузку $q(s)$ на участке $N1$:

$P_q = -\int_s^l q ds$. Внутренний изгибающий момент в сечении $N(x, y)$ равен

$$M = M_P + M_q + M_1. \quad (3.6)$$

Момент от сосредоточенной силы P_c будет

$$M_P = P_c (y'_1 - y'). \quad (3.7)$$

Для определения момента M_q от распределенной силовой нагрузки возьмем элементарную силу $q ds$ в произвольной точке $K(x, y)$ и получим

$$M_q = -\int_s^l (y' - y'_N) q ds. \quad (3.8)$$

В данном случае координата y'_N выполняет роль постоянной, поэтому индекс можно отбросить и написать

$$M_q = -\int_s^l y' q ds + y' \int_s^l q ds. \quad (3.9)$$

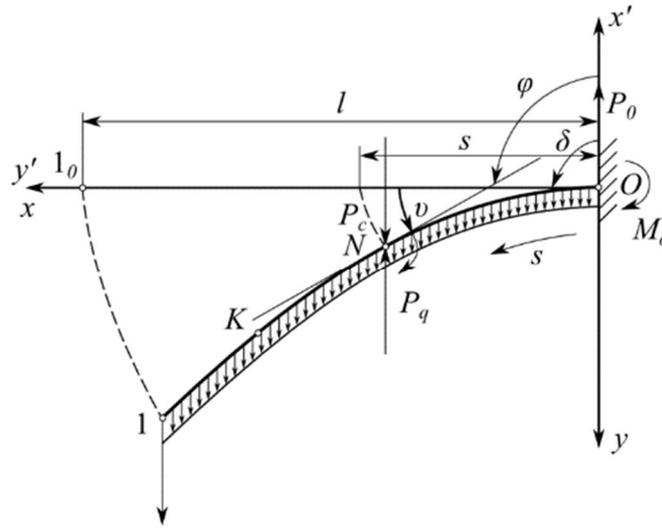


Рисунок 3.23 – Упругая линия при изгибе [70]

Продифференцируем (3.6) по дуге s , принимая во внимание (3.8) и (3.9):

$$\frac{dM}{ds} = -P_c \frac{dy'}{ds} + y'q + \frac{dy'}{ds} \int_s^l q ds - y'q. \quad (3.10)$$

Здесь учтено, что если верхний предел определенного интеграла есть величина переменная, то производная интеграла по верхнему пределу равна значению подынтегральной функции при этом верхнем пределе, т.е.

$$\frac{d}{ds} \int_l^s y'q ds = y'q. \text{ Воспользуемся известным равенством } \frac{dy'}{ds} = \sin \varphi, \text{ а также ранее}$$

приведенным соотношением $P_q = -\int_s^l q ds$, и получим

$$\frac{dM}{ds} = -P_c \sin \varphi - P_q \sin \varphi. \quad (3.11)$$

Продифференцируем уравнение равновесия (3.5) по s , подставим в полученное выражение последнее равенство (3.11) и в результате получим

$$\frac{d^2 \varphi}{ds^2} + \frac{P_c}{H} \sin \varphi + \frac{P_q}{H} \sin \varphi = 0. \quad (3.12)$$

Обозначим $\frac{P_c}{H} = \frac{\omega_c^2}{l^2}$ и $\frac{P_q}{H} = \frac{\omega_q^2}{l^2}$. Тогда точное уравнение равновесия упругой линии в общем случае записывается в безразмерном виде [92]:

$$l^2 \frac{d^2 \varphi}{ds^2} = -\omega_c^2 \sin^2 \varphi - \omega_q^2 \sin^2 \varphi. \quad (3.13)$$

Решение уравнения (3.13) в случае действия только сосредоточенной нагрузки P хорошо известно, оно приведено во многих книгах, в том числе и в [93]. Интегрирование этого уравнения мы проведем позже.

Сложнее обстоит дело, когда в правой части присутствует член, являющийся функцией дуговой координаты s , а именно $\omega_q^2 = \frac{ql^2 s}{H}$. Если в первом случае решение сводится к эллиптическим интегралам, то здесь возможно только численное решение. Конечно, эллиптические интегралы не приводятся к квадратурам, но приведение дифференциального уравнения к интегралам Лежандра и последующее их вычисление намного проще, чем численное решение исходного уравнения. В связи с этим заменим распределенную нагрузку, действующую на длине l и представляющую собой вес изгибаемых под действием приложенной на свободном конце консоли силы P_1 , равнодействующей P_2 . [91; 92] Получим схему изгиба нити двумя сосредоточенными силами, представленную на рисунке 3.24.

Тогда необходимо решать две взаимосвязанные различные задачи. Поскольку вторая задача основывается на решении первой, приведем здесь заимствованное из книги [90] решение задачи об изгибе консольной нити сосредоточенной силой. На рассмотренном выше при выводе уравнения равновесия упругой линии в общем случае рисунке 3.24 показана упругая линия, полученная при изгибе закрепленной консольно нити. В данном частном случае на свободном конце приложена только сосредоточенная сила P , перемещающаяся при изгибе поступательно, сохраняя перпендикулярность к первоначальной прямоугольной оси. [91] Распределенная нагрузка пока не учитывается. Уравнение (3.13) примет вид

$$l^2 \frac{d^2 \varphi}{ds^2} = -\omega^2 \sin^2 \varphi \quad (3.14)$$

или же

$$l^2 d\left(\frac{d\varphi}{ds}\right) = -2\omega^2 \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\varphi}{2} ds .$$

Умножим обе части этого равенства на $\frac{d\varphi}{ds}$ и проинтегрируем:

$$\left(l \frac{d\varphi}{ds}\right)^2 = 4\omega^2 \left(C_1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}\right). \quad (3.15)$$

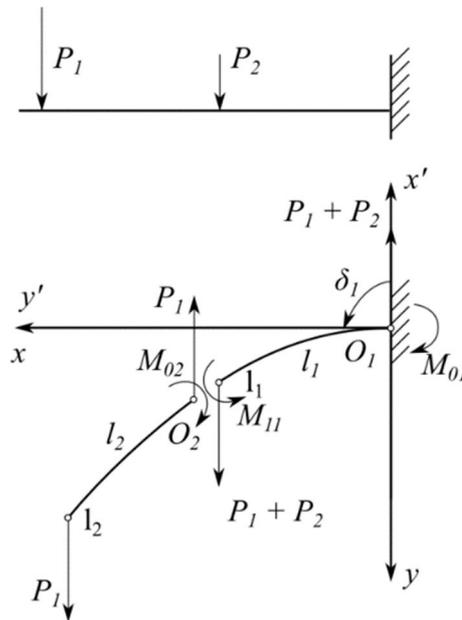


Рисунок 3.24 – Изгиб нити двумя сосредоточенными силами [70]

Постоянную C_1 обозначим через k^2 , а $\sin \frac{\varphi}{2}$ – через $k \sin \alpha$, т.е.

$$\sin \frac{\varphi}{2} = k \sin \alpha . \quad (3.16)$$

Тогда уравнение (3.15) примет вид

$$l \frac{d\varphi}{ds} = 2\omega k \cos \alpha . \quad (3.17)$$

Из (3.16) получим

$$\frac{d\varphi}{ds} = 2k \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}} \frac{d\alpha}{ds}.$$

В связи с этим имеем

$$l \frac{d\alpha}{ds} = \omega \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}, \quad \omega \frac{ds}{l} = \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}}.$$

Обозначим через $F(\alpha)$ эллиптический интеграл первого рода

$$F(\alpha) = \int_0^{\alpha} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}}.$$

При этом постоянная k называется модулем, а переменная α – амплитудой эллиптического интеграла.

Интегрируя предыдущее выражение, получаем

$$\omega \frac{s}{l} = F(\alpha) - F(\alpha_0). \quad (3.18)$$

Значения этого интеграла даются в таблицах в зависимости от k и α .

Определим теперь форму упругой линии в координатах $x'(s)$ и $y'(s)$. Здесь напомним известные дифференциальные соотношения

$$dx' = \cos \varphi ds, \quad dy' = \sin \varphi ds,$$

или

$$dx' = \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}\right) ds, \quad dy' = 2 \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\varphi}{2} ds.$$

С учетом $\sin \frac{\varphi}{2} = k \sin \alpha$ получим

$$\frac{dx'}{l} = \frac{2}{\omega} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha} d\alpha - \frac{ds}{l}, \quad \frac{dy'}{l} = \frac{2}{\omega} k \sin \alpha d\alpha.$$

Проинтегрируем эти соотношения от нуля до s :

$$\frac{x'}{l} = \frac{2}{\omega} [E(\alpha) - E(\alpha_0)] - \frac{s}{l}, \quad \frac{y'}{l} = \frac{2}{\omega} k (\cos \alpha_0 - \cos \alpha). \quad (3.19)$$

Здесь через $E(\alpha)$ обозначен эллиптический интеграл второго рода

$$E(\alpha) = \int_0^{\alpha} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha} d\alpha.$$

Перейдем к системе координат xu . Получим

$$\frac{x}{l} = \frac{x'}{l} \cos \delta + \frac{y'}{l} \sin \delta, \quad \frac{y}{l} = \frac{y'}{l} \cos \delta - \frac{x'}{l} \sin \delta. \quad (3.20)$$

Рассмотрим граничные условия для рассматриваемой упругой нити. В концевой точке l упругой линии отсутствует изгибающий момент, поэтому кривизна $\frac{d\varphi}{ds}$ здесь равна нулю. Если подставить (3.16), т.е. $\sin \frac{\varphi}{2} = k \sin \alpha$, в

$$\left(l \frac{d\varphi}{ds} \right)^2 = 4\omega^2 \left(C_1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2} \right) - \text{формулу (3.15), то получим } l \frac{d\varphi}{ds} = 2\omega k \cos \alpha.$$

С учетом предыдущего положения о нулевой кривизне в точке l будем иметь

$$2k \cos \alpha_1 = 0. \quad (3.21)$$

Кроме того, в данной схеме изгиба $\vartheta_0 = 0$ и $\delta = 90^\circ$. Примем во внимание, что $\varphi = \vartheta + \delta$. Так как $\varphi = 2 \arcsin(k \sin \alpha)$, то второе граничное условие дает

$$k \sin \alpha_0 = \sin 45^\circ. \quad (3.22)$$

Для определения третьего эллиптического параметра из (3.18) имеем

$$F(\alpha_1) - F(\alpha_0) = \sqrt{\frac{Pl^2}{H}}. \quad (3.23)$$

Три уравнения (3.21) – (3.23) определяют три эллиптических параметра k , α_0 и $\alpha_1 = 90^\circ$.

Если в нашей задаче $\delta = 90^\circ$, то из (3.20) имеем $x = y'$ и $y = -x'$.

Вернемся к нашей основной задаче, когда нить изгибается двумя сосредоточенными силами (рисунок 3.24) [90]. В этом случае получаем два участка, при этом каждый из них соответствует условиям, рассмотренным в предыдущей задаче. Здесь известны следующие соотношения [91]:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{(P_1 + P_2)l_1^2}{H}}, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{P_1 l_2^2}{H}}, \quad \delta_1 = \delta_2 = 90^\circ, \quad \varphi_{01} = 90^\circ, \quad M_{12} = 0.$$

Также из условия стыковки первого и второго участков имеем $M_{02} = M_{11}$, $\vartheta_{02} = \vartheta_{11}$.

Кроме того, известны еще два выражения

$$\varphi_{02} = \varphi_{11}, \quad \frac{\omega_{02}}{\omega_{11}} = \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{P_1}}.$$

Таким образом, для нахождения шести эллиптических параметров $k_1, \alpha_{01}, \alpha_{11}$ для первого участка и $k_2, \alpha_{02}, \alpha_{12}$ для второго можно записать шесть уравнений:

$$\alpha_{12} = 90^\circ, \quad k_1 \sin \alpha_{01} = 0,707,$$

$$F(\alpha_{11}) - F(\alpha_{01}) = \omega_1, \quad F(k_2) - F(\alpha_{02}) = \omega_2,$$

$$k_2 \cos \alpha_{02} = k_1 \cos \alpha_{11}, \quad k_2 \sin \alpha_{02} = k_1 \sin \alpha_{11}.$$

Здесь имеем $x = y', y = -x'$ для первого участка и $x = y' + y'_{11}, y = -(x' + x'_{11})$ для второго участка.

При измеренной длине $l_1 + l_2$, экспериментально определенном весе нитей вместе с сосредоточенным весом пластины и измеренной координате y_1 центра тяжести пластины из ниже приведенной системы вычисляется жесткость всех изгибаемых нитей H , модули эллиптических интегралов k_1, k_2 и их амплитуда $\alpha_{01}, \alpha_{11}, \alpha_{02}$. [91; 92]

Выпишем эту систему:

$$k_1 \sin \alpha_{01} = 0,707, \quad (3.24)$$

$$\int_0^{\alpha_{11}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha}} - \int_0^{\alpha_{01}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{(P_1 + P_2)l_1^2}{H}}, \quad (3.25)$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k_2^2 \sin^2 \alpha}} - \int_0^{\alpha_{02}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k_2^2 \sin^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{Pl_2^2}{H}}, \quad (3.26)$$

$$k_2 \cos \alpha_{02} = k_1 \cos \alpha_{11}, \quad (3.27)$$

$$k_2 \sin \alpha_{02} = k_1 \sin \alpha_{11}, \quad (3.28)$$

$$\begin{aligned}
 -y_1 = & \frac{2}{\sqrt{\frac{P_1 + P_2}{H}}} \left(\int_0^{\alpha_{11}} \sqrt{1 - k_1 \sin^2 \alpha} d\alpha - \int_0^{\alpha_{01}} \sqrt{1 - k_1 \sin^2 \alpha} d\alpha \right) - l_1 + \\
 & + \frac{2}{\sqrt{\frac{P_1}{H}}} \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k_2 \sin^2 \alpha} d\alpha - \int_0^{\alpha_{02}} \sqrt{1 - k_2 \sin^2 \alpha} d\alpha \right) - l_2.
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

Решение системы проводится в программе MathCAD.

У нас есть дополнительная возможность произвести оценку достоверности результатов, получаемых на основе разработанной теории. Для этого по формуле

$$x_1 = \frac{2}{\sqrt{\frac{P_1 + P_2}{H}}} k_1 (\cos \alpha_{01} - \cos \alpha_{11}) + \frac{2}{\sqrt{\frac{P_1}{H}}} k_2 \cos \alpha_{02} \tag{3.30}$$

вычислим вторую координату x_1 и сравним полученный результат с экспериментально найденной величиной \bar{x}_1 .

Методика и техническое обеспечение опытного определения жесткости нити при изгибе разработаны доцентом кафедры механической технологии волокнистых материалов МГТУ им. А.Н. Косыгина И.Б. Цыгановым. [70; 89; 91]

Определение жесткости нити заключается:

- 1) в подготовке образца нитей с пластиной на конце,
- 2) в измерении прогиба нитей по рассмотренной модели,
- 3) в решении системы уравнений.

При подготовке образцов на мотовиле наматывается 40 витков испытываемой нити. На полученную полосу нитей неусаживающимся клеем (эпоксидный клей) наклеиваются картонные рамки. От одной из полосок рамки с наклеенными нитями отрезается полоска такой ширины, чтобы полученный образец, удерживаемый горизонтально за широкую полосу, имел прогиб свободного конца не менее 1/3 от длины консоли (полоски, параллельные нитям, отрезаются сразу). Подготовленный образец зажимается за широкую полосу в горизонтальном зажиме и фотографируется с помощью цифровой фотокамеры. Для устранения влияния собственного изгиба нитей производится повторное

фотографирование образца после его переворота верхней стороной вниз. После этого от образца отрезается зажимная полоска и оставшаяся часть образца взвешивается на торсионных весах. Результаты взвешивания заносятся в таблицу (в таблице 3.14 представлены результаты измерений для арселеновой пряжи, в таблице 3.15 – для комбинированной нити КР 29,4 + 2ПА 29,4 при числе обкручиваний 290 обкр/м). Полученные фотографии обрабатываются на компьютере с помощью графического редактора (рисунок 3.25). При этом измеряется координата центра наклеенной полоски, висящей консольно. С этой целью точка начала консоли A соединяется прямой линией с центром B полоски. Полученная линия зеркально отражается вокруг вертикальной оси, и точка A совмещается с началом масштабной сетки A' . С помощью масштабной сетки определяются координаты X и Y точки B' , которые также заносятся в таблицу.

Таблица 3.14 – Результаты испытаний арселеновой пряжи линейной плотности 29,4 текс на жесткость при изгибе

№	Длина нити, мм, L_2	Число нитей m	Длина полоски, мм, L_1	Масса нитей, мг, P_2	Масса полоски, мг, P_1	X_{cp}	Y_{cp}
1	15	34	5	13,0	55,0	9,00	12,50
2	15	34	5	15,0	64,5	8,60	13,50
3	15	35	5	15,0	68,0	8,55	13,60
4	15	35	5	14,5	28,5	12,80	9,85
5	15	34	6	18,0	61,0	8,40	13,25
6	15	36	5	15,5	57,0	9,50	13,00
7	15	34	5	13,0	79,0	8,65	13,10
8	15	34	5	12,0	32,0	12,25	9,75
9	15	36	5	14,5	71,0	9,15	13,00
10	15	35	5	13,0	65,0	9,15	13,00

Таблица 3.15 – Результаты испытаний ассортиментной позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4 при числе обкручиваний 290 обкр/м на жесткость при изгибе

№	Длина нити, мм, L_2	Число нитей, m	Длина полоски, мм, L_1	Масса нитей, мг, P_2	Масса полоски, мг, P_1	X_{cp}	Y_{cp}
1	35	40	5,0	125,0	751,5	23,80	25,50
2	35	40	7,0	123,0	761,0	23,25	26,00
3	35	40	7,0	123,0	799,0	22,75	26,50
4	35	40	5,0	122,0	743,0	23,25	25,50
5	35	39	6,5	117,0	767,0	22,40	26,00
6	35	39	6,0	117,0	778,0	22,75	25,90
7	35	40	6,0	118,0	752,0	21,75	26,20
8	35	41	6,5	123,5	773,0	23,25	26,20
9	35	41	6,0	127,0	794,0	23,25	25,85
10	35	41	6,0	124,0	770,5	22,90	26,20
11	35	39	7,0	116,0	774,0	21,50	28,00

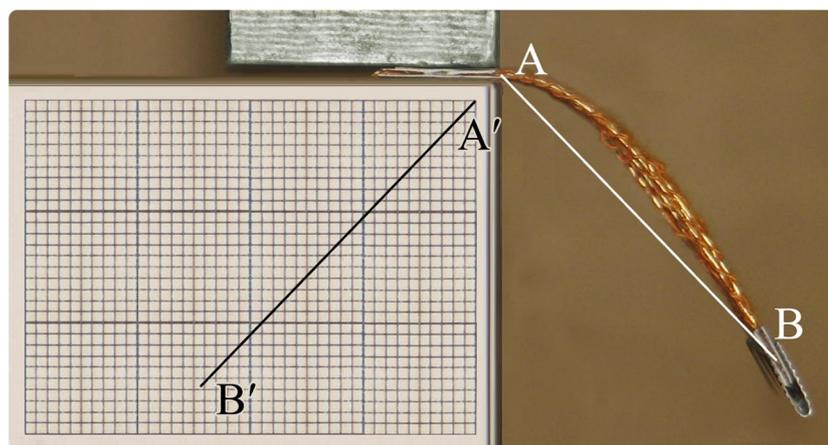


Рисунок 3.25 – Фотография изогнутой нити

Рассмотрим теперь изгиб упругой нити при больших перемещениях под действием распределенной нагрузки q и сосредоточенной силы P . Именно эта

постановка является наиболее приближенной к реальной. У нас есть возможность оценить и сравнить само решение и полученный результат как предыдущего случая изгиба, сведенного к двум сосредоточенным силам, так и излагаемый случай изгиба распределенной и сосредоточенной силами. Здесь будем пользоваться уравнением упругой линии в безразмерной форме

$$\frac{d^2\vartheta}{ds^2} = -\frac{Pl^2}{H} \sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{2}\right) - \frac{ql^3s}{H} \left(\vartheta + \frac{\pi}{2}\right). \quad (3.31)$$

В данном случае $s = \frac{s^*}{l}$, s^* – текущая длина дуги упругой линии, l – длина нити.

Сосредоточенная сила P и ее угол наклона $\delta = \frac{\pi}{2}$, отсчитываемый от линии действия силы P к оси x против часовой стрелки (рисунок 3.23), не зависят от s и ϑ . Равнодействующая сила P_q от распределенной нагрузки q явно зависит от длины s .

Решение дифференциального уравнения (3.31) будем искать в виде $\vartheta = \vartheta(s)$. Координаты концевой точки I определяются формулами [89]

$$x_1 = l \int_0^1 \cos \vartheta(s) ds, \quad y_1 = l \int_0^1 \sin \vartheta(s) ds. \quad (3.32)$$

Даны два краевых условия: 1) в точке O – $\vartheta_0 = 0$ при $s = 0$ и 2) в точке I – кривизна $\left(\frac{d\vartheta}{ds}\right)_1 = 0$ при $s = l$.

На рисунках 3.26 и 3.27 представлен расчет жесткости комбинированных обкрученных нитей ассортиментной позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4 при числе обкручиваний 290 обкр/м, выполненный в программе MathCAD.

Жесткость русар 29 текс, обкрученный двумя арселоновыми нитями 29 текс

Длина нити l_1 от заделки до середины нитей $l_1 := \frac{35}{2} = 17.5$

Длина l_2 , равная половине длины нитей 17,5 + половина длины полоски

$$\underline{l} := (5 \ 7 \ 7 \ 5 \ 6.5 \ 6 \ 6 \ 6.5 \ 6 \ 6 \ 7)^T \quad \text{mean}(l) = 6.182 \quad \frac{6.182}{2} = 3.091 \quad 17.5 + 3.091 = 20.591$$

$$y := (25.5 \ 26 \ 26.5 \ 25.5 \ 26 \ 25.9 \ 26.2 \ 25.85 \ 26.2 \ 26.2 \ 28)^T \quad \text{mean}(y) = 26.168$$

$$p_1 := (751.5 \ 761 \ 799 \ 743 \ 767 \ 778 \ 752 \ 773 \ 794 \ 770.5 \ 774)^T \quad \text{mean}(p_1) = 769.364$$

$$P_1 := 0.769$$

$$p_2 := (125 \ 123 \ 123 \ 122 \ 117 \ 117 \ 118 \ 123.5 \ 127 \ 124 \ 116)^T \quad \text{mean}(p_2) = 121.409$$

$$P_2 := 0.122$$

$$\text{Число нитей} \quad \underline{m} := (40 \ 40 \ 40 \ 40 \ 39 \ 39 \ 41 \ 41 \ 41 \ 39 \ 40)^T \quad \text{mean}(m) = 40$$

$$x := (23.8 \ 23.25 \ 22.75 \ 23.25 \ 22.40 \ 22.75 \ 21.75 \ 23.25 \ 23.25 \ 22.90 \ 21.50)^T \quad \text{mean}(x) = 22.805$$

$$k_1 := 0.95 \quad k_2 := 0.95 \quad \psi_{01} := 0.9 \quad \psi_{11} := 0.9 \quad \psi_{02} := 0.9 \quad \underline{H} := 300$$

$$\underline{l} := 17.5 \quad l_2 := 20.591 \quad y_1 := 26.168 \quad \underline{P}_1 := 0.769 \quad \underline{P}_2 := 0.122$$

$$F_1(k_1, \psi_{01}, \psi_{11}) := \int_0^{\psi_{11}} \frac{1}{\sqrt{1 - k_1^2 \cdot (\sin(\psi))^2}} d\psi - \int_0^{\psi_{01}} \frac{1}{\sqrt{1 - k_1^2 \cdot (\sin(\psi))^2}} d\psi$$

$$F_2(k_2, \psi_{02}) := \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k_2^2 \cdot (\sin(\psi))^2}} d\psi - \int_0^{\psi_{02}} \frac{1}{\sqrt{1 - k_2^2 \cdot (\sin(\psi))^2}} d\psi$$

$$E_1(k_1, \psi_{01}, \psi_{11}) := \int_0^{\psi_{11}} \sqrt{1 - k_1 \cdot (\sin(\psi))^2} d\psi - \int_0^{\psi_{01}} \sqrt{1 - k_1 \cdot (\sin(\psi))^2} d\psi$$

$$E_2(k_2, \psi_{02}) := \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k_2 \cdot (\sin(\psi))^2} d\psi - \int_0^{\psi_{02}} \sqrt{1 - k_2 \cdot (\sin(\psi))^2} d\psi$$

Рисунок 3.26 – Расчет жесткости при изгибе обкрученных нитей

$$\omega_1(P_1, P_2, l_1, H) := \sqrt{\frac{(P_1 + P_2) \cdot l_1^2}{H}} \quad \omega_2(P_1, l_2, H) := \sqrt{\frac{P_1 \cdot l_2^2}{H}}$$

$$\omega_3(P_1, P_2, H) := \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{H}} \quad \omega_4(P_1, H) := \sqrt{\frac{P_1}{H}}$$

Given

$$k_1 \cdot \sin(\psi_{01}) = 0.707$$

$$F_1(k_1, \psi_{01}, \psi_{11}) = \omega_1(P_1, P_2, l_1, H)$$

$$F_2(k_2, \psi_{02}) = \omega_2(P_1, l_2, H)$$

$$k_2 \cdot \cos(\psi_{02}) = k_1 \cdot \cos(\psi_{11})$$

$$k_2 \cdot \sin(\psi_{02}) = k_1 \cdot \sin(\psi_{11})$$

$$-y_1 = \frac{2}{\omega_3(P_1, P_2, H)} \cdot (E_1(k_1, \psi_{01}, \psi_{11})) - l_1 + \left[\frac{2}{\omega_4(P_1, H)} \cdot (E_2(k_2, \psi_{02})) - l_2 \right]$$

$$\underset{\text{www}}{R} := \text{Find}(k_1, k_2, \psi_{01}, \psi_{11}, \psi_{02}, H) \quad R^T = (0.971 \quad 0.971 \quad 0.816 \quad 1.29 \quad 1.29 \quad 323.472)$$

Число нитей 40 Жесткость одной нити $\underset{\text{www}}{H} := \frac{323.472}{40}$ **H = 8.087**

$$k_{1_0} := R_0 \quad k_{2_0} := R_1 \quad \psi_{01_0} := R_2 \quad \psi_{11_0} := R_3 \quad \psi_{02_0} := R_4 \quad H_0 := R_5$$

$$k_{1_0} = 0.971 \quad k_{2_0} = 0.971 \quad \psi_{01_0} = 0.816 \quad \psi_{11_0} = 1.29 \quad \psi_{02_0} = 1.29$$

$$H_0 = 323.472 \quad H_{01} := 8.087$$

$$x_{1_0} := \frac{2 \cdot k_{1_0}}{\sqrt{\frac{P_1 + P_2}{H_0}}} \cdot (\cos(\psi_{01_0}) - \cos(\psi_{11_0})) + \frac{2 \cdot k_{2_0}}{\sqrt{\frac{P_1}{H_0}}} \cdot \cos(\psi_{02_0}) \quad x_{1_0} = 26.129$$

Экспериментальная 22,8

Рисунок 3.27 – Расчет жесткости при изгибе
обкрученных нитей (продолжение)

Выводы по третьей главе

1. Предложенный способ (обкручивание стержневой нити Русар-С арселоновой пряжей в двух противоположных направлениях при заданном числе обкручиваний) позволил получить неоднородные комбинированные нити, обладающие равновесной структурой и имеющие хорошие показатели покрытия стержневой нити обкручивающим компонентом: 50,14 – 51,49 % для позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4; 60,81 – 61,62 % для позиции КР 14,3 + 2ПА 25; 65,77 – 66,58 % для позиции КР 14,3 + 2ПА 29,4.
2. Определено оптимальное число обкручиваний для первых двух ассортиментных позиций (КР 14,3 + 2ПА 29,4 и КР 29,4 + 2ПА 29,4) неоднородных комбинированных нитей (равное 360 обкр/м), при котором показатель неравновесности принимает свои наилучшие значения.
3. Проведено планирование эксперимента: для показателей линейной плотности, жесткости и неравновесности рассмотрена линейная однофакторная регрессионная модель, а для прочностных показателей – квадратичная параболическая однофакторная регрессионная модель. Проведенный эксперимент обладает свойствами воспроизводимости; гипотезы об адекватности линейной и квадратичной параболической однофакторных регрессионных моделей не отвергаются.
4. Согласно требованиям заказчика наработаны образцы тканых лент трех значений плотности по утку (на примере позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4). Испытание полученных образцов на устойчивость к истиранию по плоскости показало, что данный показатель тем выше, чем больше плотность ткани по утку (при равной плотности по основе). Кроме того, установлено, что истиранию подвержены в большей степени нити основы, нити утка повреждаются меньше. Связано это с тем, что в процессе выработки уточные нити натянуты больше, и уработка ткани происходит за счет нитей основы, которые, выступая на поверхность ленты, истираются быстрее.

5. Для образца тканой ленты с плотностью по утку 90 нитей/10 см были проведены испытания на прочность. Средние значения разрывной нагрузки составили 1870,4 и 1311,1 Н (по основе и по утку соответственно), что превосходит значения, указанные в требованиях безопасности ТР ТС 019/2011.
6. Испытание окрашенных образцов тканых лент на устойчивость окраски к свету показало результат, оцениваемый в 3-4 балла, что является удовлетворительным.
7. В ходе исследований заказчиком было отмечено, что образцы тканых лент обладают повышенной жесткостью и плохой драпируемостью, в результате чего возникла необходимость снизить линейную плотность комбинированной нити. В качестве обкручивающего компонента было выбрано новое сырье: арселоновая пряжа линейной плотности 25 текс (страна-производитель – Чехия). Готовая комбинированная нить имеет не такую высокую жесткость, как предыдущие две ассортиментные позиции, что позволяет прогнозировать меньшую жесткость и лучшую драпируемость ткани из нее.
8. Определено оптимальное число обкручиваний для третьей ассортиментной позиции неоднородных комбинированных нитей (равное 428 обкр/м), при котором показатель неравновесности принимает свои наилучшие значения.
9. Выполнены испытания на устойчивость неоднородных комбинированных нитей к самоистиранию. Исследования показали, что сначала разрушается стержневой компонент, а затем – обкручивающий. Объясняется это тем, что нить Русар-С находится под большим натяжением, чем арселоновая пряжа (при этом истирание происходит в поперечном направлении). В то же время обкручивающий компонент благодаря своей структуре (количеству и расположению волокон в поперечном сечении и осевом направлении пряжи при крутке 650-780 кр/м) и углу, под которым он истирается, оказывается более устойчивым.
10. Проведено исследование жесткости при изгибе неоднородных комбинированных нитей. Методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити; дан корректный,

отличающийся от всех известных, способ определения жесткости при изгибе, проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей.

11. Для исследуемых неоднородных комбинированных нитей разработан проект технических условий ТУ-4798-001-02066457-2014 (Нити обкрученные комбинированные); подана заявка № 2013158436 от 27.12.2013 на патент РФ на изобретение (Комбинированная нить и способ ее получения).

ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ОБКРУЧЕННЫХ НИТЕЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОКРЫТИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТЕРЖНЕВОЙ НИТИ ОБКРУЧИВАЮЩИМ КОМПОНЕНТОМ

4.1. Расчет прочности неоднородных обкрученных нитей

При разработке технических тканей, в частности для изготовления защитной одежды, ведущая роль отводится проектированию прочности составляющих ее нитей.

Расчет прочности неоднородных обкрученных нитей дает возможность увязать физико-механические характеристики исходных компонентов и технологические параметры обкручивания с прогнозируемой прочностью готовой нити, а также позволяет установить, в какой степени каждый из этих факторов влияет на показатели полученной нити.

Благодаря расчетным методам проектирования свойств комбинированных нитей становится возможным определение значений основных характеристик исходных компонентов для выработки обкрученных нитей с заданными величинами прочностных и других полезных свойств.

Применяя расчетные методы проектирования прочности нитей, важно учитывать, что существенное влияние на их физико-механические характеристики оказывает величина крутки (или число обкручиваний одного компонента другим).

Обозначим деформацию центрального прямолинейного высокомодульного компонента Русар-С неоднородной нити ε_0 . Угол подъема винтовой линии (оси арселеновой пряжи l), т.е. угол между касательной к винтовой линии и образующей цилиндра, равен α . Тогда деформация осевой линии l запишется в виде:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 \cos^2 \alpha. \quad (4.1)$$

Диаметры обеих арселоновых пряж одинаковы; при обкручивании они располагаются под одинаковыми углами к оси нити, поэтому $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$.

Выразим деформации через силы. На испытательной машине STATIGRAPH L записаны диаграммы растяжения обоих компонентов (рисунки 4.1 и 4.2).

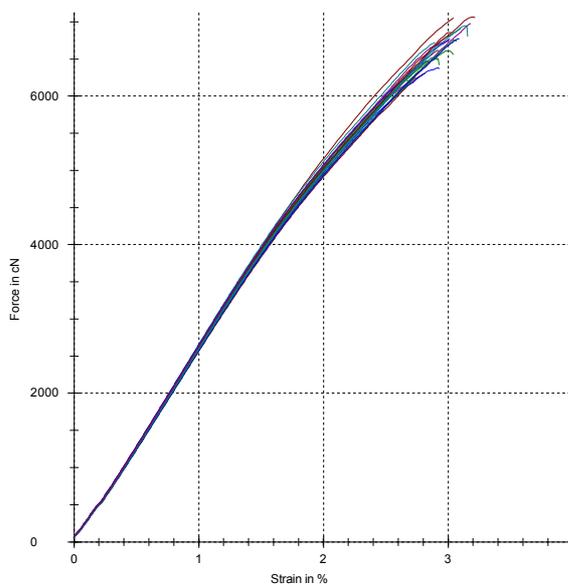


Рисунок 4.1 – Диаграмма растяжения нити Русар-С (29,4 текс)

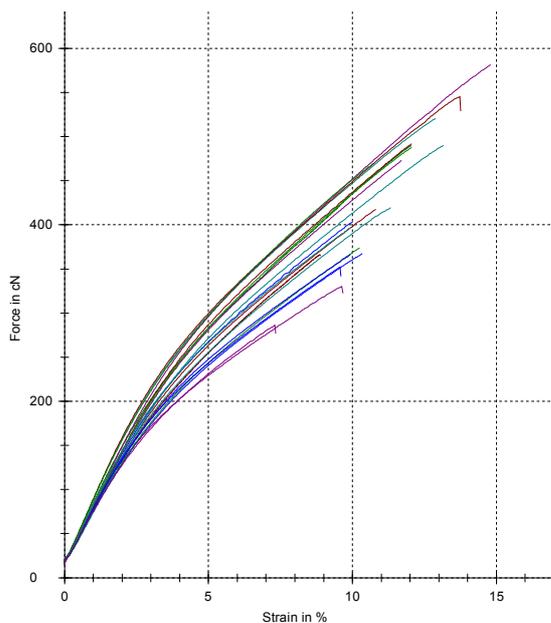


Рисунок 4.2 – Диаграмма растяжения арселоновой пряжи (29,4 текс)

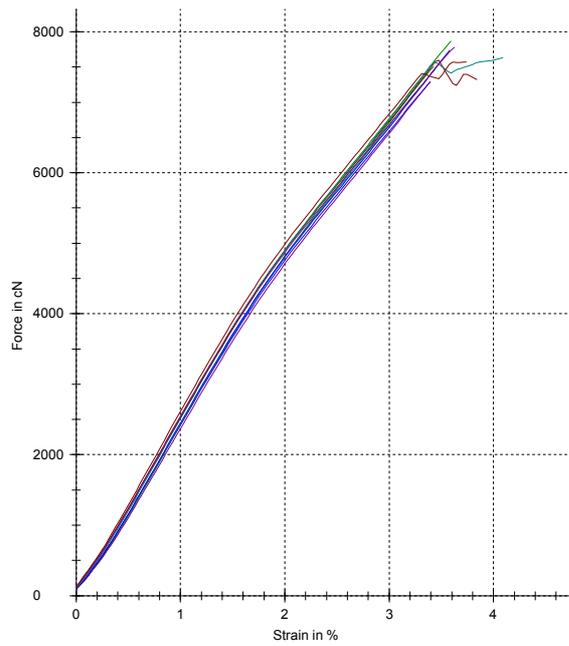


Рисунок 4.3 – Диаграмма растяжения комбинированной нити с числом обкручиваний 220 обкр/м

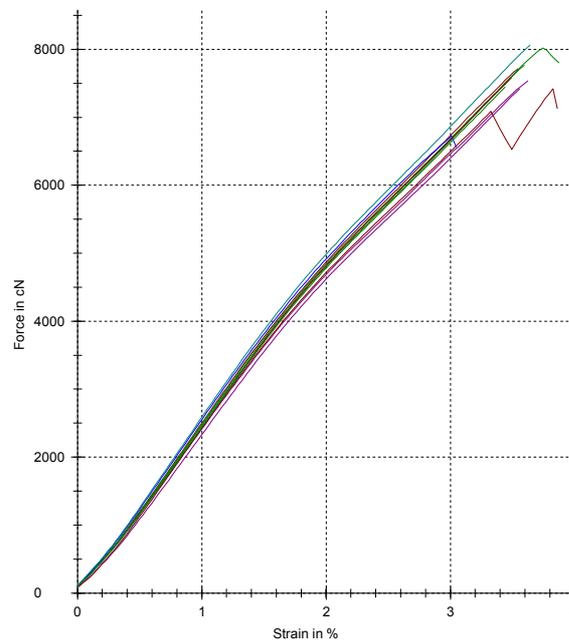


Рисунок 4.4 – Диаграмма растяжения комбинированной нити с числом обкручиваний 290 обкр/м

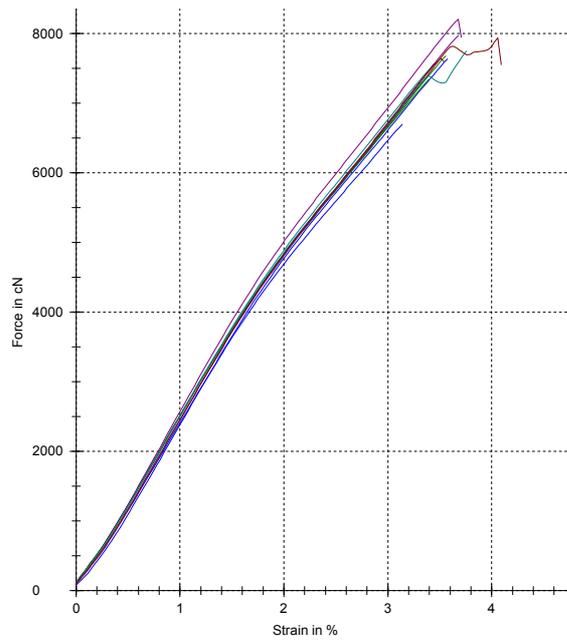


Рисунок 4.5 – Диаграмма растяжения комбинированной нити с числом обкручиваний 360 обкр/м

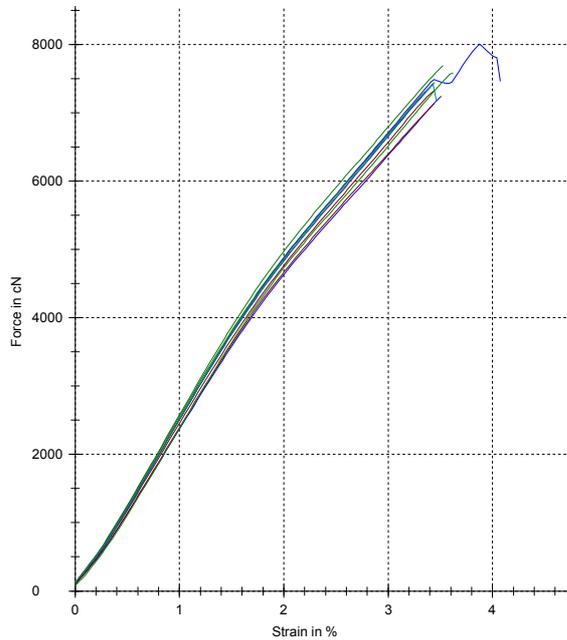


Рисунок 4.6 – Диаграмма растяжения комбинированной нити с числом обкручиваний 430 обкр/м

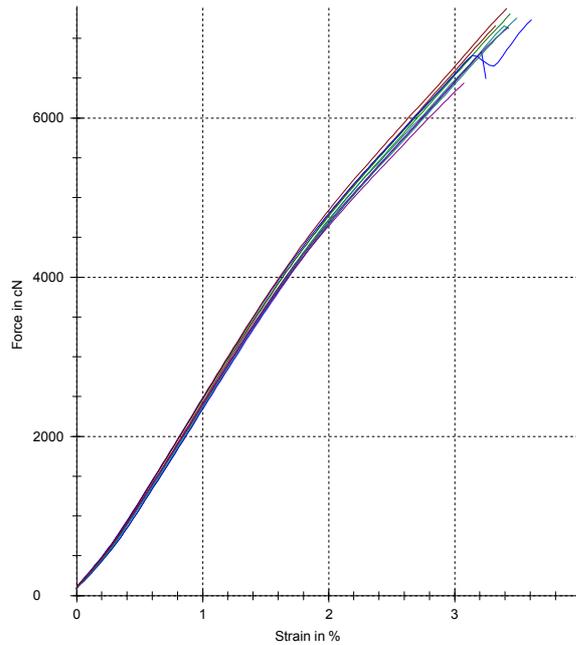


Рисунок 4.7 – Диаграмма растяжения комбинированной нити с числом обкручиваний 500 обкр/м

Из рисунков 4.1 и 4.2 видно, что кривые растяжения нелинейны. При этом у высокомодульного компонента Русар-С небольшая нелинейность наблюдается лишь в области разрушения в отличие от пряжи, где отклонения от линейности возникают уже после деформации, равной 2 %. Нами будет показано, что в момент разрыва деформация арселоновой пряжи $\varepsilon_1 = 0,021$. В этих условиях и для низко модульного компонента можно принять закон Гука. Если обозначить $(EF)_i$ – жесткость нити при растяжении и T_i – натяжение, можно записать:

$$\varepsilon_0 = \frac{T_0}{(EF)_0} \text{ и } \varepsilon_1 = \frac{T_1}{(EF)_1}.$$

Тогда в соответствии с (4.1) имеем:

$$\frac{T_1}{(EF)_1} = \frac{T_0}{(EF)_0} \cos^2 \alpha.$$

Введем обозначения: отношение жесткостей $e = \frac{(EF)_1}{(EF)_0}$, натяжение нити в момент обрыва, т.е. прочность, P_* . Теперь напишем уравнение равновесия системы

$$P_* = T_{0*} + 2T_1 \cos \alpha$$

или

$$P_* = T_{0*} (1 + 2e \cos^3 \alpha). \quad (4.2)$$

В эти два последние выражения не входят силы трения между нитями, которые, по единодушному мнению текстильщиков, увеличивают прочность комбинированной нити. Так, в учебнике «Механическая технология текстильных материалов» 1989 года издания [94] написано: «При кручении одиночные нити обхватывают друг друга, растягиваются и осуществляют взаимное сжатие. Силы трения как между компонентами, так и между волокнами увеличиваются, что повышает разрывную нагрузку крученой пряжи». Приведенная цитата отражает установившуюся точку зрения технологов и материаловедов на роль трения в теории прочности нити и пряжи. Однако чтобы силы трения существовали, необходимо относительное смещение взаимодействующих элементарных нитей в случае одиночной комплексной нити и компонентов для обкрученной нити. У винтовой линии главная нормаль ν пересекает ось нити под прямым углом и совпадает с ее радиусом. В радиальном направлении действует распределенная нагрузка интенсивностью q . Вследствие свойств винтовой линии указанная нормаль ν является одновременно нормалью к поверхности второй изогнутой по винтовой линии пряжи. При деформировании обкрученной нити оси оплеточных компонентов как были, так и остаются винтовыми. Нагрузка q всегда направлена по радиусу нити, и силам трения просто неоткуда появиться. В полной мере это относится и к одиночной нити или пряже. Рассматривая малый элемент элементарной нити в комплексной нити, замечаем лишь силы, действующие параллельно и перпендикулярно оси нити [95]. Если при этом и следует говорить о скользящих элементарных нитях и силах трения, то совсем в ином смысле, как это многие понимают. Подробно об этом написано в учебнике [70]. Система элементарных нитей в комплексной нити или система компонентов в обкрученной нити является самоуплотняющейся, т.е. чем больше натяжение, тем сильнее поперечное обжатие. [42]

В процессе обкручивания создается «монолитный» продукт, в котором волокна и нити существуют не сами по себе, а представляют собой цельное тело, воспринимающее внешнюю нагрузку. В обкрученной нити слабые места блокируются при достаточной величине поперечных сил, возникающих в результате обкручивания. Подобное явление свойственно нитям с сравнительно небольшим числом обкручиваний (200 и выше). Если же говорить о вычислении сил трения в предположении, что они существуют, то здесь никаких трудностей не возникает. Нормальное давление арселеновой пряжи при известном натяжении T_1 определяется по известной формуле $N = \frac{T_1}{\rho_1}$, где $\frac{1}{\rho_1}$ – кривизна оси винтовой

линии обкручивающей пряжи. Кривизна определяется выражением $\frac{1}{\rho_1} = \frac{\sin^2 \alpha}{R}$.

Здесь $R = r_{\text{рус}} + r_{\text{арс}}$. Приняв закон Амонтона, для силы трения получим $F_{\text{трения}} = \mu N$. Эти соотношения приведены только для того, чтобы показать, что никаких трудностей при нахождении силы трения не возникает. Если же ее ввести в уравнение равновесия (4.2), то получим увеличение прочности при увеличении длины образца. Сила трения является распределенной, т.е. отнесенной к единице длины. Чтобы получить силу трения, надо распределенную нагрузку умножить на длину, на которой эта нагрузка действует. Отсюда и следует увеличение прочности. Элементарные вычисления показывают настолько значительное возрастание прочности за счет трения, что многочисленные эксперименты на прочность должны отвергнуть само существование сил трения как в одиночной, так и в обкрученной нити.

Однако опытные данные по определению прочности неоднородной комбинированной нити при различных значениях числа обкручиваний обнаруживают экстремальный характер прочности.

Таблица 4.1 – Разрывные характеристики нити Русар-С линейной плотности 29,4 текс

Показатели № испытания	Линейная плотность, текс	Зажимная длина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Абсолютная разрывная нагрузка, Н	Напряжение, Н/мм ²	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Работа разрыва, Н·мм
1	29,4	500,21	0,02042	70,53	3454,49	239,895	3,04	584,2
2	29,4	500,21	0,02042	66,12	3238,416	224,89	3	546,2
3	29,4	500,19	0,02042	67,63	3312,364	230,025	3,01	558,7
4	29,4	500,19	0,02042	67,17	3289,845	228,461	2,9	530,6
5	29,4	500,21	0,02042	62,50	3061,295	212,59	2,74	468,4
6	29,4	500,19	0,02042	68,57	3358,702	233,243	3,01	563,9
7	29,4	500,19	0,02042	62,24	3048,297	211,687	2,65	443,9
8	29,4	500,19	0,02042	64,73	3170,438	220,169	2,83	503,6
9	29,4	500,21	0,02042	65,18	3192,385	221,693	2,88	512,3
10	29,4	500,19	0,02042	66,16	3240,379	225,026	2,92	526,4
11	29,4	500,19	0,02042	63,01	3086,298	214,326	2,81	482,2
12	29,4	500,21	0,02042	65,08	3187,732	221,37	2,92	525,5
13	29,4	500,21	0,02042	63,80	3125,168	217,026	2,92	520,4
14	29,4	500,19	0,02042	69,12	3385,477	235,103	3,1	589
15	29,4	500,19	0,02042	69,76	3416,622	237,265	3,18	610,5
16	29,4	500,21	0,02042	70,62	3458,952	240,205	3,19	623,9
17	29,4	500,21	0,02042	67,54	3308,15	229,733	3,05	562,5
18	29,4	500,19	0,02042	67,70	3316,098	230,285	3,09	576,5
19	29,4	500,19	0,02042	69,48	3403,102	236,327	3,15	603,8
20	29,4	500,21	0,02042	67,43	3302,86	229,365	3	562,4
Среднее значение	29,4	500,2	0,02042	66,72	3267,854	226,934	2,97	544,7
Среднее квадратич. отклонение				2,60	127,512	8,855	0,14	48,1
Коэффициент вариации				3,9	3,9	3,9	4,87	8,83

Таблица 4.2 – Разрывные характеристики арселеновой пряжи линейной плотности 29,4 текс

Показатели № испытания	Линейная плотность, текс	Зажимная длина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Абсолютная разрывная нагрузка, Н	Напряжение, Н/мм ²	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Работа разрыва, Н·мм
1	29,4	501,54	0,02042	3,66	179,331	12,454	8,88	98,61
2	29,4	501,34	0,02042	4,90	239,934	16,662	12,04	179,4
3	29,4	501,63	0,02042	3,67	179,911	12,494	10,35	118,4
4	29,4	501,36	0,02042	5,20	254,952	17,705	12,88	208,2
5	29,4	501,43	0,02042	3,30	161,606	11,223	9,64	101,2
6	29,4	501,73	0,02042	4,17	204,409	14,195	10,81	139
7	29,4	501,51	0,02042	3,74	183,115	12,716	10,25	118,5
8	29,4	501,53	0,02042	4,04	197,777	13,735	10,02	124,6
9	29,4	501,34	0,02042	4,19	205,353	14,261	11,33	146,9
10	29,4	501,38	0,02042	5,82	284,831	19,78	14,79	261,8
11	29,4	501,46	0,02042	5,45	266,998	18,542	13,73	232,3
12	29,4	501,23	0,02042	4,69	229,833	15,961	10,72	155,1
13	29,4	501,74	0,02042	3,66	179,315	12,452	9,93	113,6
14	29,4	501,91	0,02042	4,90	240,075	16,672	13,16	197,7
15	29,4	501,78	0,02042	4,73	231,688	16,089	11,7	168,8
16	29,4	501,61	0,02042	4,92	241,019	16,737	12,06	180,9
17	29,4	501,79	0,02042	4,88	238,916	16,591	12,05	179,4
18	29,4	501,59	0,02042	3,52	172,452	11,976	9,57	105,7
19	29,4	501,43	0,02042	3,96	194,168	13,484	9,92	122,4
20	29,4	501,59	0,02042	2,86	140,189	9,735	7,31	65,25
Среднее значение	29,4	501,55	0,02042	4,31	211,294	14,673	11,06	150,9
Среднее квадратич. отклонение				0,78	38,311	2,66	1,78	49,73
Коэффициент вариации				18,13	18,13	18,13	16,11	32,96

Таблица 4.3 – Разрывные характеристики неоднородных обкрученных нитей (КР 29,4 + 2ПА 29,4), 220 обкр/м

Показатели № испытания	Линейная плотность, текс	Зажимная длина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Абсолютная разрывная нагрузка, Н	Напряжение, Н/мм ²	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Работа разрыва, Н·мм
1	90	500,46	0,0625	75,09	1201,466	83,435	3,43	684,5
2	90	500,41	0,0625	72,88	1166,124	80,981	3,39	662,4
3	90	500,56	0,0625	73,25	1172,071	81,394	3,36	655,8
4	90	500,46	0,0625	72,98	1167,671	81,088	3,4	656,6
5	90	500,36	0,0625	75,92	1214,718	84,355	3,48	715
6	90	500,43	0,0625	78,70	1259,266	87,449	3,59	759,8
7	90	500,48	0,0625	77,38	1238,09	85,978	3,58	739,4
8	90	500,38	0,0625	76,31	1221,033	84,794	4,09	946,4
9	90	500,34	0,0625	77,83	1245,303	86,479	3,63	767,6
10	90	500,33	0,0625	75,72	1211,51	84,133	3,74	826,8
Среднее значение	90	500,42	0,0625	75,61	1209,725	84,009	3,57	741,4
Среднее квадратич. отклонение				2,07	33,059	2,296	0,22	91,32
Коэффициент вариации				2,73	2,73	2,73	6,2	12,32

Таблица 4.4 – Разрывные характеристики неоднородных обкрученных нитей (КР 29,4 + 2ПА 29,4), 290 обкр/м

Показатели № испытания	Линейная плотность, текс	Зажимная длина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Абсолютная разрывная нагрузка, Н	Напряжение, Н/мм ²	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Работа разрыва, Н·мм
1	90	500,34	0,0625	77,18	1234,874	85,755	3,55	737,3
2	90	500,38	0,0625	80,19	1283,084	89,103	3,74	809,6
3	90	500,38	0,0625	75,36	1205,698	83,729	3,63	738,9
4	90	500,38	0,0625	74,21	1187,405	82,459	3,83	806,4
5	90	500,41	0,0625	77,69	1242,988	86,319	3,6	747,9
6	90	500,41	0,0625	67,28	1076,519	74,758	3,01	548,3
7	90	500,34	0,0625	80,63	1290,132	89,593	3,64	793,6
8	90	500,44	0,0625	74,21	1187,419	82,46	3,56	701,9
9	90	500,58	0,0625	75,84	1213,501	84,271	3,49	706
10	90	500,44	0,0625	74,44	1191,056	82,712	3,44	684,6
Среднее значение	90	500,41	0,0625	75,70	1211,268	84,116	3,55	727,5
Среднее квадратич. отклонение				3,77	60,259	4,185	0,22	76,77
Коэффициент вариации				4,97	4,97	4,97	6,21	10,55

Таблица 4.5 – Разрывные характеристики неоднородных обкрученных нитей (КР 29,4 + 2ПА 29,4), 360 обкр/м

Показатели № испытания	Линейная плотность, текс	Зажимная длина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Абсолютная разрывная нагрузка, Н	Напряжение, Н/мм ²	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Работа разрыва, Н·мм
1	90	500,33	0,0625	79,38	1270,003	88,195	4,06	933,7
2	90	500,31	0,0625	76,82	1229,173	85,359	3,56	737
3	90	500,74	0,0625	76,39	1222,29	84,881	3,58	730,5
4	90	500,34	0,0625	75,63	1210,128	84,037	3,44	700,7
5	90	500,36	0,0625	82,09	1313,48	91,214	3,68	811,7
6	90	500,36	0,0625	73,43	1174,903	81,59	3,39	674,1
7	90	500,36	0,0625	67,03	1072,479	74,478	3,14	566,2
8	90	500,33	0,0625	77,51	1240,218	86,126	3,76	813,4
9	90	500,36	0,0625	79,76	1276,139	88,621	3,68	783,6
10	90	500,38	0,0625	76,43	1222,828	84,919	3,51	717
Среднее значение	90	500,39	0,0625	76,45	1223,164	84,942	3,58	746,8
Среднее квадратич. отклонение				4,10	65,566	4,553	0,24	97,86
Коэффициент вариации				5,36	5,36	5,36	6,79	13,1

Таблица 4.6 – Разрывные характеристики неоднородных обкрученных нитей (КР 29,4 + 2ПА 29,4), 430 обкр/м

Показатели № испытания	Линейная плотность, текс	Зажимная длина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Абсолютная разрывная нагрузка, Н	Напряжение, Н/мм ²	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Работа разрыва, Н·мм
1	90	500,33	0,0625	73,32	1173,055	81,462	3,44	683
2	90	500,31	0,0625	70,49	1127,847	78,323	3,21	615,2
3	90	500,36	0,0625	80,07	1281,126	88,967	3,88	863,1
4	90	500,31	0,0625	74,29	1188,706	82,549	3,43	690,9
5	90	500,31	0,0625	73,14	1170,205	81,264	3,36	662,9
6	90	500,33	0,0625	76,94	1231,007	85,487	3,53	742,5
7	90	500,38	0,0625	72,46	1159,298	80,507	3,51	686,1
8	90	500,34	0,0625	74,43	1190,886	82,7	3,44	694,1
9	90	500,38	0,0625	71,40	1142,487	79,339	3,44	666,2
10	90	500,63	0,0625	75,86	1213,698	84,285	3,62	741,6
Среднее значение	90	500,37	0,0625	74,24	1187,832	82,488	3,49	704,6
Среднее квадратич. отклонение				2,81	45,024	3,127	0,17	66,88
Коэффициент вариации				3,79	3,79	3,79	5,01	9,49

Таблица 4.7 – Разрывные характеристики неоднородных обкрученных нитей (КР 29,4 + 2ПА 29,4), 500 обкр/м

Показатели № испытания	Линейная плотность, текс	Зажимная длина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Абсолютная разрывная нагрузка, Н	Напряжение, Н/мм ²	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Работа разрыва, Н·мм
1	90	500,34	0,0625	71,58	1145,335	79,537	3,33	639,2
2	90	500,36	0,0625	73,09	1169,429	81,21	3,44	671,7
3	90	500,38	0,0625	68,30	1092,865	75,893	3,21	584,2
4	90	500,33	0,0625	71,58	1145,27	79,533	3,39	653,9
5	90	500,33	0,0625	71,40	1142,43	79,335	3,43	663,6
6	90	500,33	0,0625	67,62	1081,923	75,134	3,13	571,8
7	90	500,31	0,0625	72,34	1157,475	80,38	3,61	739
8	90	500,33	0,0625	72,53	1160,545	80,593	3,49	683,6
9	90	500,33	0,0625	64,42	1030,784	71,582	3,08	538,1
10	90	500,36	0,0625	73,79	1180,615	81,987	3,41	679,9
Среднее значение	90	500,34	0,0625	70,67	1130,667	78,519	3,35	642,5
Среднее квадратич. отклонение				2,94	47,09	3,27	0,17	60,67
Коэффициент вариации				4,16	4,16	4,16	4,97	9,44

При числе обкручиваний от 220 до 360 обкр/м наблюдается увеличение прочности, далее следует ее уменьшение. Расчеты по формуле (4.2) дают монотонное уменьшение прочности от максимума при $\alpha = 0$. Из приведенного выше текста о влиянии трения на прочность одиночной и обкрученной нити увеличение прочности нельзя объяснить возрастанием трения при большем числе обкручиваний. Нами предлагается гипотеза о блокировке слабых мест при увеличении контактной нагрузки. Для этого потребуются знание зависимости прочности от длины образца. Теория наислабейшего звена изложена в [70]. Приведем основные положения этой теории.

В основе одной из статистических теорий прочности лежит гипотеза слабого звена. Элементарная нить предполагается составленной из большого числа структурных элементов, каждый из которых имеет свою прочность. Разрушение элементарной нити в целом происходит тогда, когда выходит из строя хотя бы один структурный элемент. Разрыв элементарной нити отождествляется с разрушением цепи, звенья которой имеют различную прочность. Прочность цепи равна прочности наислабейшего звена. Прочность элементарной нити длины l определяется прочностью ее наиболее слабого дефектного места. Так как дефекты в элементарной нити располагаются случайным образом, то и прочность элементарной нити является случайной величиной. [42]

Концепция наислабейшего звена широко использовалась при разработке многих статистических теорий прочности, которые отличаются одна от другой лишь способом оправдания использования этой концепции или принимаемым видом функции распределения локальной прочности. Здесь уместно еще раз отметить важную роль механики нити в развитии естествознания, так как впервые концепцию наислабейшего звена в 1926 году сформулировал Ф. Пирс при исследовании прочности хлопковых волокон. Пирс был также первым, кто осознал тесную связь этой модели с асимптотической теорией экстремальных значений при больших выборках из некоторой статистической совокупности.

Применение концепции наислабейшего звена к пространственному телу, а не к волокну, впервые было предложено В. Вейбуллом, пришедшим, однако, к соответствующей функции распределения на основе чисто эвристических соображений, не связанных с асимптотической теорией.

Результаты испытаний достаточно большого числа волокон n представляются при помощи диаграммы, изображенной на рисунке 4.8 (аналогичный подход применим и к элементарным нитям в составе комплексной нити).

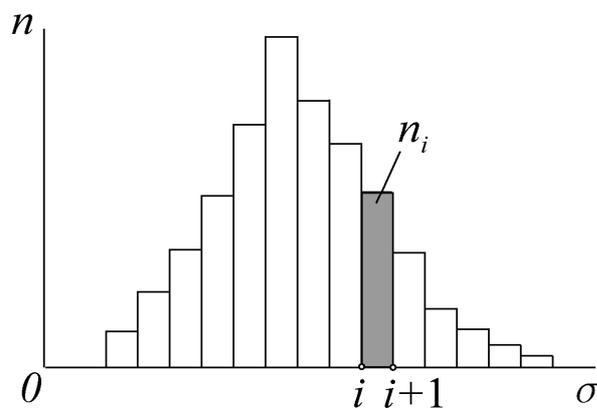


Рисунок 4.8 – Диаграмма распределения прочности волокон

Число волокон, разорвавшихся при напряжении, лежащем между σ_i и σ_{i+1} , равно n_i ; соответствующий этому прямоугольник на гистограмме имеет стороны $\sigma_{i+1} - \sigma_i$ и n_i . Изменим масштаб диаграммы: будем откладывать по оси ординат вместо n_i величину $\frac{n_i}{n(\sigma_{i+1} - \sigma_i)}$, тогда суммарная площадь фигуры, ограниченной ломаной и осью абсцисс, будет равна единице. Уменьшая интервал $\Delta\sigma = \sigma_{i+1} - \sigma_i$ по оси абсцисс, мы получим в пределе плавную кривую плотности $\varphi(\sigma)$ распределения прочности волокон длины l , подчиненную условию нормирования:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\sigma) d\sigma = 1.$$

Тогда величина

$$\Phi(\sigma) = \int_{-\infty}^{\sigma} \varphi(\sigma) d\sigma$$

представляет собой относительное число волокон, прочность которых не больше σ .

Зная распределение прочности $\varphi(\sigma)$, можно определить:

1) математическое ожидание (среднюю величину) прочности волокна

$$\bar{\sigma} = \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma \varphi(\sigma) d\sigma; \quad (4.3)$$

2) дисперсию прочности $D(\sigma)$

$$D(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} (\sigma - \bar{\sigma})^2 \varphi(\sigma) d\sigma \quad (4.4)$$

или

$$D(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma^2 \varphi(\sigma) d\sigma - \bar{\sigma}^2; \quad (4.5)$$

3) коэффициент вариации

$$C = \frac{\sqrt{D}}{\bar{\sigma}}. \quad (4.6)$$

Обычно берется нормальное распределение. Имея распределение, заданное с точностью до трех или четырех параметров, можно достаточно хорошо аппроксимировать экспериментальные данные вблизи центра. Для расчета на прочность основной интерес представляет возможность надежной экстраполяции кривых в сторону низких значений прочности с очень малой вероятностью появления. Для того чтобы с достаточной достоверностью получить отрезки кривой распределения, относящиеся к малым вероятностям, нужно располагать числом испытаний, во много раз превышающим реальные возможности эксперимента. Найдем, например, число испытаний, необходимое для того чтобы с достоверностью 90 % можно было утверждать, что вероятность обнаружить низкий предел прочности лежит между 0 и 0,001. Из критерия согласия

Колмогорова следует, что $n = 0,68 \cdot 10^6$. Даже когда необходимый доверительный интервал равен 0,01, число опытных точек составляет около 10^4 . Тогда реальная надежная экстраполяция эмпирических данных в область малых вероятностей возможна лишь при условии, если из каких-либо теоретических соображений известны асимптотические свойства распределения. [42] К таким статистическим теориям прочности принадлежит теория, в основе которой лежит гипотеза слабого звена.

Если $F(l)$ – вероятность отсутствия на участке длины l таких дефектов, которые соответствуют разрушающему напряжению, меньшему чем σ , и $F = 1 - \Phi(\sigma)$ при фиксированном σ , то для участка длины l' та же вероятность будет $F(l')$. Пусть участки l и l' расположены последовательно. По теореме об умножении вероятностей вероятность неразрушения участка длины $l + l'$:

$$F(l + l') = F(l)F(l'). \quad (4.7)$$

Возьмем логарифмические производные по l от обеих частей равенства (4.7). Получим:

$$\frac{d \ln F(l + l')}{dl} = \frac{d \ln F(l)}{dl} = -c. \quad (4.8)$$

Значение c должно быть постоянным, поскольку оно не меняется от прибавления к длине l произвольной длины l' . Проинтегрировав (4.8), получим:

$$F(l) = \exp(-cl). \quad (4.9)$$

В этом случае принято, что $F(0) = 1$ и соответственно $F(\infty) = 0$. Отсюда следует, что

$$\Phi(l, \sigma) = 1 - e^{-cl}.$$

Величина c должна быть функцией действующего напряжения. Делая некоторые дополнительные допущения для функции $c(\Phi)$, можно получить следующее выражение:

$$c = (\sigma - \sigma_0)^\alpha = \text{const при } \sigma > \sigma_0, \quad c = 0 \text{ при } \sigma \leq \sigma_0.$$

Тогда распределение записывается в виде:

$$\Phi = 1 - \exp \left[-\frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{\sigma_w} \right)^\alpha \right]. \quad (4.10)$$

Формула (4.10) обычно называется распределением Вейбулла. Фактически она содержит три константы, а выделение характерной длины l_0 предоставляет определенные удобства для решения конкретных задач; это может быть длина стандартного образца при испытаниях. Параметр распределения σ_w характеризует модальное значение прочности, а параметр α определяет структурные особенности материала. Напряжение σ_0 представляет собой пороговое напряжение; при $\sigma = \sigma_0$ разрушение невозможно. В действительности определение трех констант по данным эксперимента приводит к неустойчивым результатам, и величину σ_0 часто полагают равной нулю. В этом случае после дифференцирования (4.10) находим плотность распределения

$$\varphi(l, \sigma) = \frac{l\alpha}{l_0\sigma_w} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w} \right)^{\alpha-1} \exp \left[-\frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w} \right)^\alpha \right], \quad (4.11)$$

где, как уже отмечалось, принято $\sigma_0 = 0$.

По формуле (4.3) получаем среднюю прочность

$$\bar{\sigma} = \alpha \int_0^\infty \frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w} \right)^\alpha \exp \left[-\frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w} \right)^\alpha \right] d\sigma.$$

Заменяв переменную

$$\frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w} \right)^\alpha = z,$$

приходим к интегралу, определяющему гамма-функцию:

$$\int_0^\infty z^{\frac{1}{\alpha}} \exp(-z) dz = \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right).$$

В результате получаем формулу для средней прочности:

$$\bar{\sigma} = \sigma_w \left(\frac{l_0}{l} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right). \quad (4.12)$$

Аналогичные преобразования формулы (4.4) дают выражение для дисперсии прочности:

$$D = \sigma_w^2 \left(\frac{l_0}{l} \right)^{2/\alpha} \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\alpha} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right]. \quad (4.13)$$

Коэффициент вариации определяется формулой

$$C = \sqrt{\frac{\Gamma(1 + 2/\alpha)}{\Gamma^2(1 + 1/\alpha)} - 1}. \quad (4.14)$$

Вычислим параметры распределения Вейбулла для стержневой нити Русар-С линейной плотности 29,4 текс. Среднее значение и дисперсия приведены в таблице 4.1. В формулах (4.12) и (4.13) заменим напряжение σ на силу P , соответственно параметр σ_w на P_w . Решая систему (4.12), (4.13), получим $\bar{P}_w = 72,775$ и $\alpha = 4,871$. Формула (4.12) при указанной замене символов

$$\bar{P} = P_w \left(\frac{l_0}{l} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$$

позволяет определить среднюю прочность при любой длине l при известной зажимной длине образца $l_0 = 500,2$ мм.

На рисунке 4.9 приведен расчет прочности неоднородной нити при числе обкручиваний 220 обкр/м, выполненный в программе MathCAD. Разрывная нагрузка дана в ньютонах. Экспериментальное значение прочности для этого варианта 75,61 Н (таблица 4.3). Столь близкое совпадение опытных и расчетных величин свидетельствует о неизменности структуры стержневого компонента, вносящего основной вклад в прочность нити. В условиях малой крутки контактная нагрузка между нитью Русар-С и арселеновой пряжей не влияет на расположение элементарных нитей в стержне. То же самое можно утверждать и для варианта с числом обкручиваний 290 обкр/м.

<p>Расчет прочности неоднородной нити русар+ арселоновая пряжа</p>
--

$$T0 := 29.4 \quad \rho0 := 0.9 \quad T1 := 29.4 \quad \rho1 := 0.8$$

$$d0 := 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T0}{\rho0}} \quad d0 = 0.204 \quad d1 := 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T1}{\rho1}} \quad d1 = 0.216$$

$$R := \frac{d0}{2} + \frac{d1}{2} \quad R = 0.21$$

$$K1 := 220 \cdot 10^{-3} \quad \alpha := \operatorname{atan}(2 \cdot \pi \cdot R \cdot K1) \quad \alpha = 0.283$$

$$P_w := 72.775 \quad \alpha_w := 4.871 \quad l0 := 500.2 \quad l1 := 500.2$$

$$P(l1) := P_w \cdot \left(\frac{l0}{l1}\right)^{\frac{1}{\alpha_w}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha_w}\right) \quad P(l1) = 66.719$$

$$P0 := 66.719 \quad \varepsilon0 := 0.0297$$

$$EF0 := \frac{P0}{\varepsilon0} \quad EF0 = 2.246 \times 10^3$$

$$\varepsilon1 := \varepsilon0 \cdot \cos(\alpha)^2 \quad \varepsilon1 = 0.027 \quad P1 := 4.65 \quad EF1 := \frac{P1}{\varepsilon1} \quad EF1 = 169.788$$

$$e := \frac{EF1}{EF0} \quad e = 0.076 \quad P_r := P(l1) \cdot (1 + 2 \cdot e \cdot \cos(\alpha)^3) \quad P_r = 75.649$$

Рисунок 4.9 – Расчет прочности неоднородной нити при 220 обкр/м

Иначе обстоит дело при числе обкручиваний 360 обкр/м (рисунок 4.10). Здесь структура нити Русар-С уплотняется под действием интенсивной контактной нагрузки, блокируются слабые места. Где эти слабые места, на какой длине они расположены – неизвестно. Можно лишь предположить, что блокирование слабых мест равносильно уменьшению длины образца. При длине 460 мм расчетная прочность нити составляет уже 76,42 Н при экспериментальной прочности 76,45 Н. Дальнейшее увеличение числа обкручиваний уже не дает эффекта уплотнения: нить превратилась в «монолитный» продукт. В действие вступает влияние ориентации обкручивающей арселоновой пряжи, которое

становится доминирующим. Вычисления в случае $K = 430$ обкр/м приведены на рисунке 4.11.

**Расчет прочности неоднородной нити
русар+ арселоновая пряжа**

$$T0 := 29.4 \quad \rho0 := 0.9 \quad T1 := 29.4 \quad \rho1 := 0.8$$

$$d0 := 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T0}{\rho0}} \quad d0 = 0.204 \quad d1 := 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T1}{\rho1}} \quad d1 = 0.216$$

$$R := \frac{d0}{2} + \frac{d1}{2} \quad R = 0.21$$

$$K1 := 360 \cdot 10^{-3} \quad \alpha := \text{atan}(2 \cdot \pi \cdot R \cdot K1) \quad \alpha = 0.444$$

$$P_w := 72.775 \quad \alpha_w := 4.871 \quad I0 := 500.2 \quad I1 := 460$$

$$P(11) := P_w \cdot \left(\frac{I0}{I1}\right)^{\frac{1}{\alpha_w}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha_w}\right) \quad P(11) = 67.876$$

$$P0 := 66.719 \quad \varepsilon0 := 0.0297$$

$$EF0 := \frac{P0}{\varepsilon0} \quad EF0 = 2.246 \times 10^3$$

$$\varepsilon1 := \varepsilon0 \cdot \cos(\alpha)^2 \quad \varepsilon1 = 0.024 \quad P1 := 4.65 \quad EF1 := \frac{P1}{\varepsilon1} \quad EF1 = 191.97$$

$$e := \frac{EF1}{EF0} \quad e = 0.085 \quad P_r := P(11) \cdot (1 + 2 \cdot e \cdot \cos(\alpha)^3) \quad P_r = 76.421$$

Рисунок 4.10 – Расчет прочности неоднородной нити при 360 обкр/м

Расчет прочности неоднородной нити русар+ арселеновая пряжа
--

$$T0 := 29.4 \quad \rho0 := 0.9 \quad T1 := 29.4 \quad \rho1 := 0.8$$

$$d0 := 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T0}{\rho0}} \quad d0 = 0.204 \quad d1 := 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T1}{\rho1}} \quad d1 = 0.216$$

$$R := \frac{d0}{2} + \frac{d1}{2} \quad R = 0.21$$

$$K1 := 430 \cdot 10^{-3} \quad \alpha := \text{atan}(2 \cdot \pi \cdot R \cdot K1) \quad \alpha = 0.517$$

$$P_w := 72.775 \quad \alpha_w := 4.871 \quad I0 := 500.2 \quad I1 := 460$$

$$P(I1) := P_w \cdot \left(\frac{I0}{I1}\right)^{\frac{1}{\alpha_w}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha_w}\right) \quad P(I1) = 67.876$$

$$P0 := 66.719 \quad \varepsilon0 := 0.0297$$

$$EF0 := \frac{P0}{\varepsilon0} \quad EF0 = 2.246 \times 10^3$$

$$\varepsilon1 := \varepsilon0 \cdot \cos(\alpha)^2 \quad \varepsilon1 = 0.022 \quad P1 := 4.0 \quad EF1 := \frac{P1}{\varepsilon1} \quad EF1 = 178.131$$

$$e := \frac{EF1}{EF0} \quad e = 0.079 \quad P_r := P(I1) \cdot (1 + 2 \cdot e \cdot \cos(\alpha)^3) \quad P_r = 74.953$$

Рисунок 4.11 – Расчет прочности неоднородной нити при 430 обкр/м

Увеличивая число обкручиваний до 500 обкр/м, получаем, как и в предыдущем варианте, падение прочности вследствие наличия « $\cos^3 \alpha$ » (рисунок 4.12).

Расчет прочности неоднородной нити русар+ арселоновая пряжа
--

$$\begin{aligned}
 T_0 &:= 29.4 & \rho_0 &:= 0.9 & T_1 &:= 29.4 & \rho_1 &:= 0.8 \\
 d_0 &:= 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T_0}{\rho_0}} & d_0 &= 0.204 & d_1 &:= 0.0357 \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\rho_1}} & d_1 &= 0.216 \\
 R_w &:= \frac{d_0}{2} + \frac{d_1}{2} & R &= 0.21 \\
 K_1 &:= 500 \cdot 10^{-3} & \alpha &:= \text{atan}(2 \cdot \pi \cdot R \cdot K_1) & \alpha &= 0.584 \\
 P_w &:= 72.775 & \alpha_w &:= 4.871 & I_0 &:= 500.2 & I_1 &:= 460 \\
 P(11) &:= P_w \cdot \left(\frac{I_0}{I_1}\right)^{\frac{1}{\alpha_w}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha_w}\right) & P(11) &= 67.876 \\
 P_0 &:= 66.719 & \varepsilon_0 &:= 0.0297 \\
 EF_0 &:= \frac{P_0}{\varepsilon_0} & EF_0 &= 2.246 \times 10^3 \\
 \varepsilon_1 &:= \varepsilon_0 \cdot \cos(\alpha)^2 & \varepsilon_1 &= 0.021 & P_1 &:= 3.7 & EF_1 &:= \frac{P_1}{\varepsilon_1} & EF_1 &= 178.922 \\
 e_w &:= \frac{EF_1}{EF_0} & e &= 0.08 & P_r &:= P(11) \cdot (1 + 2 \cdot e \cdot \cos(\alpha)^3) & P_r &= 74.158
 \end{aligned}$$

Рисунок 4.12 – Расчет прочности неоднородной нити при 500 обкр/м

Кроме того, следует обратить внимание на уменьшение деформации оси периферийного компонента при увеличении числа обкручиваний в соответствии с формулой (4.1)

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 \cos^2 \alpha.$$

Умножив ε_1 на жесткость $(EF)_1$, получаем натяжение арселоновой составляющей. Отмеченный фактор наряду с предыдущим во многом определяет механизм разрушения неоднородной нити.

Таким образом, можно считать, что создана новая теория прочности неоднородной обкрученной нити, учитывающая механизм разрушения как отдельных ее компонентов, так и нити в целом.

4.2. Расчет площади покрытия поверхности стержневого компонента комбинированной нити обкручивающим компонентом

Для выявления возможности окрашивания комбинированной нити, обкручивающий компонент которой окрашивается хорошо, а стержень затруднительно, целесообразно применять два подхода. [96; 97] Первый позволяет оценить площадь, занимаемую обкручивающим компонентом на проекции комбинированной нити на плоскость (например, на фотографии). Такой расчет можно выполнить с помощью графической компьютерной программы. Использование данного способа дает представление о том, насколько комбинированная нить окрасится количественно.

Второй подход заключается в геометрическом подсчете той площади поверхности стержневого компонента (нити Русар-С), которая закрыта обкручивающим компонентом (арселоновой пряжей) по всей поверхности комбинированной нити (т.е. со всех ее сторон). Данный подход следует рассмотреть более подробно (рисунок 4.13).

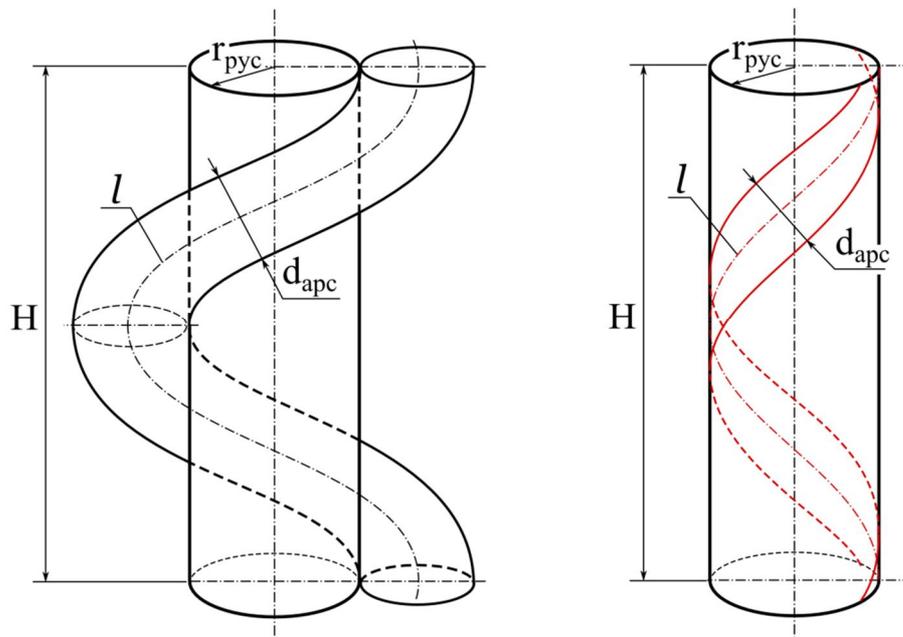


Рисунок 4.13 – Модель расположения стержневого и обкручивающего
компонентов друг относительно друга

Здесь в первую очередь вычисляется площадь поверхности стержневой нити Русар-С на одном шаге обкручивания:

$$S_{\text{рус}} = 2\pi r_{\text{рус}} \cdot H, \quad (4.15)$$

где $S_{\text{рус}}$ – площадь поверхности нити Русар-С в пределах одного шага, мм²;

$r_{\text{рус}}$ – радиус комплексной нити Русар-С, мм;

H – шаг обкручивания (расстояние между соседними витками арселеновой пряжи, определяемое путем деления 1000 мм длины нити на число обкручиваний), мм.

Величину радиуса комплексной нити Русар-С можно найти, используя формулы, выведенные Н.В. Шаховой и ее предшественниками [20]. Если принять, что данная комплексная нить имеет стержневую структуру (т.е. форма поперечного сечения подкрученной комплексной нити – правильная), а диаметры элементарных нитей внутри комплексной – равны, то радиус наружного слоя комплексной нити можно рассчитать по следующей формуле:

$$r_{\text{к.н.}} = d_{\text{э.н.}} \cdot (m - 1) + \frac{d_{\text{э.н.}}}{2}, \quad (4.16)$$

где $r_{\text{к.н.}}$ – радиус комплексной нити (он же радиус наружного слоя комплексной нити), мм;

$d_{\text{э.н.}}$ – диаметр элементарной нити, мм;

m – число слоев элементарных нитей внутри комплексной нити, имеющей стержневую структуру.

Диаметр элементарной нити рассчитывается по следующей формуле:

$$d_{\text{э.н.}} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{э.н.}}}{\gamma}}, \quad (4.17)$$

где $T_{\text{э.н.}}$ – линейная плотность элементарной нити, мг/м;

γ – плотность вещества, равная 1,44 мг/мм³ для арамидов.

Используя данные производителя, согласно которым $T_{\text{э.н.}} = 0,145$ мг/м, находим диаметр элементарной нити Русар-С:

$$d_{\text{э.н.}} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{э.н.}}}{\gamma}} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{0,145}{1,44}} = 0,011(\text{мм}).$$

В том же литературном источнике [20] дано указание на формулу, применяемую для подсчета числа слоев элементарных нитей внутри комплексной нити при стержневой структуре:

$$m = \frac{1}{6} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{12 \cdot T_{\text{к.н.}}}{T_{\text{э.н.}}} - 3} \right), \quad (4.18)$$

где $T_{\text{к.н.}}$ – линейная плотность комплексной нити, мг/м.

Для нити Русар-С линейной плотности 14,3 текс (в формулу подставляется фактическое значение линейной плотности, взятое из таблицы 2.3) находим:

$$m_{\text{рус14,3}} = \frac{1}{6} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{12 \cdot T_{\text{рус14,3}}}{T_{\text{э.н.}}} - 3} \right) = \frac{1}{6} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{12 \cdot 14,39}{0,145} - 3} \right) = 6,24(\approx 6);$$

для нити Русар-С линейной плотности 29,4 текс (в формулу подставляется фактическое значение линейной плотности, взятое из таблицы 2.3):

$$m_{\text{рус29,4}} = \frac{1}{6} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{12 \cdot T_{\text{рус29,4}}}{T_{\text{э.н.}}} - 3} \right) = \frac{1}{6} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{12 \cdot 28,88}{0,145} - 3} \right) = 8,64(\approx 9).$$

Таким образом, для нити Русар-С линейной плотности 14,3 и 29,4 текс соответственно получим:

$$r_{\text{рус14,3}} = d_{\text{э.н.}} \cdot (m_{\text{рус14,3}} - 1) + \frac{d_{\text{э.н.}}}{2} = 0,011 \cdot (6,24 - 1) + \frac{0,011}{2} = 0,065(\text{мм});$$

$$r_{\text{рус29,4}} = d_{\text{э.н.}} \cdot (m_{\text{рус29,4}} - 1) + \frac{d_{\text{э.н.}}}{2} = 0,011 \cdot (8,64 - 1) + \frac{0,011}{2} = 0,092(\text{мм}).$$

Далее необходимо найти площадь поверхности стержневой нити, закрытую одним витком обкручивающего компонента при одинарном обкручивании. Согласно рисунку 4.13 это площадь прямоугольника, который является проекцией арселеновой пряжи на нить Русар-С:

$$S_{\text{арс}} = l \cdot d_{\text{арс}}, \quad (4.19)$$

где $S_{арс}$ – площадь поверхности нити Русар-С, закрытая арселоновой пряжей в рамках одного шага (при одинарном обкручивании), мм²;

$d_{арс}$ – диаметр арселоновой пряжи, мм;

l – длина одного витка арселоновой пряжи (длина арселоновой пряжи, приходящаяся на один шаг обкручивания), мм. Данная величина находится через развертку комбинированной нити в треугольник (рисунок 4.14):

$$l = \sqrt{4\pi^2 r_{рус}^2 + H^2}. \quad (4.20)$$

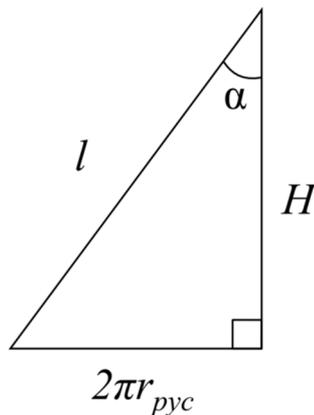


Рисунок 4.14 – Развертка комбинированной нити на одном шаге обкручивания

Для нахождения диаметра обкручивающего компонента можно воспользоваться формулой, применяемой для элементарных нитей [98], если принять, что внутри пряжи при крутке 645 и 783 кр/м (для арселоновой пряжи линейной плотности 29,4 и 25 текс соответственно) между волокнами нет воздушных прослоек:

$$d_{арс} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T_{арс}}{\gamma}}, \quad (4.21)$$

где $T_{арс}$ – линейная плотность арселоновой пряжи, мг/м;

γ – плотность вещества, равная 1,44 мг/мм³ для арамидов.

Для арселеновой пряжи линейной плотности 25 текс (в формулу подставляется фактическое значение линейной плотности, взятое из таблицы 3.4) находим:

$$d_{арс25} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T_{арс25}}{\gamma}} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{26,04}{1,44}} = 0,15(мм);$$

для арселеновой пряжи линейной плотности 29,4 текс (в формулу подставляется фактическое значение линейной плотности, взятое из таблицы 2.3):

$$d_{арс29,4} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T_{арс29,4}}{\gamma}} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{32,26}{1,44}} = 0,17(мм).$$

Для того чтобы найти площадь поверхности стержневой нити, закрытую обкручивающим компонентом, надо умножить величину ($S_{арс}$) на два (поскольку обкручивание производилось в двух противоположных направлениях) и вычесть площадь участков перекрытия витков обкручивающего компонента (в пределах одного шага арселеновая пряжа, оплетая нить Русар-С, пересекается дважды).

Поскольку число обкручиваний в одном направлении мало отличается от числа обкручиваний в другом, принимаем, что витки обкручивающего компонента расположены под одинаковыми углами к оси комбинированной нити, т.е. в идеальной модели площадь их перекрытия представляет собой ромб (рисунок 4.15):

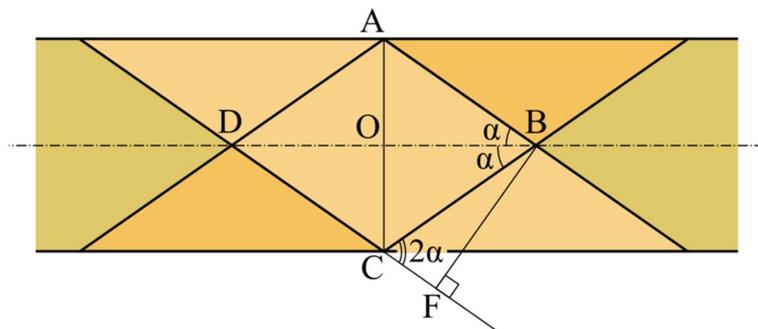


Рисунок 4.15 – Изображение перекрытия витков обкручивающего компонента на поверхности стержневой нити

Для нахождения площади ромба достраивается треугольник $\triangle BCF$. В нем $\angle BCF = 2\alpha$ при этом $BF = d_{apc}$. Стороны ромба равны $\frac{BF}{\sin 2\alpha} = \frac{d_{apc}}{\sin 2\alpha}$. Тогда площадь ромба определяется через соотношение

$$AB \cdot BF = BC \cdot BF = \frac{BF}{\sin 2\alpha} \cdot BF = \frac{d_{apc}}{\sin 2\alpha} \cdot d_{apc} = \frac{d_{apc}^2}{\sin 2\alpha}. \quad (4.22)$$

Наименьшая площадь перекрытия получается, если $\sin 2\alpha = 1$, т.е. $2\alpha = 90^\circ$ (арселоновые витки пересекаются под прямым углом).

$$\sin 2\alpha = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{2 \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}}{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha}} = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (4.23)$$

На рисунке 4.14 видно, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\pi r_{puc}}{H}$. Значит, имеет место следующее равенство:

$$\sin 2\alpha = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{\frac{4\pi r_{puc}}{H}}{1 + \frac{4\pi^2 r_{puc}^2}{H^2}} = \frac{4\pi r_{puc} \cdot H}{H^2 + 4\pi^2 r_{puc}^2}. \quad (4.24)$$

Тогда площадь ромба (или площадь одного перекрытия (S_{nep}) витков обкручивающего компонента) вычисляется по формуле

$$S_{nep} = \frac{d_{apc}^2 \cdot (H^2 + 4\pi^2 r_{puc}^2)}{4\pi r_{puc} \cdot H}. \quad (4.25)$$

Искомая площадь поверхности стержневой нити, закрытая арселоновой пряжей ($S_{нокр}$), в пределах одного шага обкручивания выражается формулой

$$S_{нокр} = 2 \cdot S_{apc} - 2 \cdot S_{nep} = 2 \cdot d_{apc} \cdot \sqrt{4\pi^2 r_{puc}^2 + H^2} - \frac{2 \cdot d_{apc}^2 \cdot (H^2 + 4\pi^2 r_{puc}^2)}{4\pi r_{puc} \cdot H}. \quad (4.26)$$

Для нахождения этого показателя в процентном отношении ко всей площади поверхности стержневой нити, выводится заключительная формула

$$\Delta = \frac{S_{\text{покр}}}{S_{\text{пус}}} \cdot 100 = \left(\frac{d_{\text{арс}} \cdot \sqrt{4\pi^2 r_{\text{пус}}^2 + H^2}}{\pi r_{\text{пус}} \cdot H} - \frac{d_{\text{арс}}^2 \cdot (4\pi^2 r_{\text{пус}}^2 + H^2)}{4\pi^2 r_{\text{пус}}^2 \cdot H^2} \right) \cdot 100(\%). \quad (4.27)$$

Ниже приведен пример поэтапного расчета площади покрытия поверхности стержневой составляющей обкручивающим компонентом для комбинированной нити третьей ассортиментной позиции (КР 14,3 + 2ПА 25) при числе обкручиваний 428 обкр/м.

По формуле (4.15) находим площадь поверхности стержневой нити (радиус нити Русар-С посчитан ранее по формуле (4.16), шаг H определяется через фактическое число обкручиваний):

$$S_{\text{пус}} = 2\pi \cdot 0,065 \cdot 2,48 = 1,01(\text{мм}^2).$$

Длину одного витка арселеновой пряжи определяем по формуле (4.20):

$$l = \sqrt{4\pi^2 0,065^2 + 2,48^2} = 2,52(\text{мм}).$$

По формуле (4.19) рассчитываем площадь поверхности стержневой нити, закрытую одним витком обкручивающего компонента (диаметр арселеновой пряжи найден ранее по формуле (4.21)):

$$S_{\text{арс}} = 2,52 \cdot 0,15 = 0,38(\text{мм}^2).$$

Площадь перекрытия витков обкручивающего компонента определяем по формуле (4.25):

$$S_{\text{пер}} = \frac{0,15^2 \cdot (2,48^2 + 4\pi^2 0,065^2)}{4\pi \cdot 0,065 \cdot 2,48} = 0,07(\text{мм}^2).$$

Искомый показатель рассчитываем по формулам (4.26) и (4.27):

$$S_{\text{покр}} = 2 \cdot 0,38 - 2 \cdot 0,07 = 0,62(\text{мм}^2),$$

$$\Delta = \frac{0,62}{1,01} \cdot 100 = 61,12(\%).$$

Результаты вычислений для трех ассортиментных позиций сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Площадь покрытия поверхности стержневого компонента комбинированной нити обкручивающим компонентом

Число обкручиваний, обкр/м	Площадь покрытия, %		Число обкручиваний, обкр/м	Площадь покрытия, %
	КР 14,3 + 2ПА 29,4	КР 29,4 + 2ПА 29,4		КР 14,3 + 2ПА 25
220	65,77	50,14	306	60,81
290	65,92	50,38	356	60,96
360	66,11	50,70	428	61,10
430	66,33	51,07	504	61,31
500	66,58	51,49	581	61,62

Табличные данные показывают, что с увеличением числа обкручиваний (для каждой из трех позиций) площадь покрытия незначительно, но все же увеличивается. Кроме того, исследуемый показатель тем выше, чем тоньше стержневой компонент и толще обкручивающий. Здесь важно отметить, что третья позиция комбинированных нитей (для которой используется импортная арселоновая пряжа) не на много уступает первой, где разница между линейными плотностями (толщинами) компонентов нити максимальна.

Для оценки распределения обкручивающего компонента комбинированной нити по поверхности стержневого написана программа (Определение площади покрытия стержневого компонента комбинированной нити обкручивающим компонентом) на языке C++ (объем – 35 Кб). Данная программа позволяет вычислять площадь поверхности стержневого компонента, закрытую обкручивающим, в зависимости от основных характеристик сырья (линейная плотность комплексной нити (или пряжи), линейная плотность элементарной нити в составе комплексной, плотность вещества) и выбранного числа обкручиваний. Кроме того, программа визуализирует комбинированную нить и рассчитывает по проекции нити на плоскость, какой процент от общей площади

готовой нити занимает обкручивающий компонент, что соответствует реализации первого подхода к оценке окрашиваемости. Рассматриваемый показатель очень важен, поскольку стержневой компонент исследуемых нитей не окрашивается общеизвестными доступными красителями, а обкручивающий компонент хорошо поддается отделочным операциям. Пример работы программы, а также исходный код представлены в приложении Е; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614489 от 25.04.2014 – в приложении Ж.

Выводы по четвертой главе

1. Разработана новая теория прочности неоднородной обкрученной нити с учетом механизма разрушения как отдельных ее компонентов, так и нити в целом, основанная на концепции наислабейшего звена в современных теориях механики деформируемого твердого тела.
2. Предложена гипотеза о блокировке слабых мест стержневой нити возрастающей контактной нагрузкой при нагружении комбинированной нити, в соответствии с которой прочность нити носит экстремальный характер.
3. Результаты, полученные при оценке распределения арселеновой пряжи по поверхности комплексной нити Русар-С внутри комбинированной нити, показывают, что с увеличением числа обкручиваний площадь покрытия также увеличивается. Отмечено, что площадь покрытия поверхности стержневой нити обкручивающим компонентом тем больше, чем больше толщина последнего превосходит толщину стержня.
4. Написана компьютерная программа для оценки площади поверхности стержневой нити, закрытой обкручивающим компонентом. Выдано свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Разработана и реализована технология комбинированной нити с внутренним прямолинейным сердечником и двумя оплеточными компонентами; определены геометрические, скоростные и силовые факторы, обеспечивающие формирование неоднородной комбинированной нити с заданными свойствами.
2. Разработана новая теория прочности неоднородной обкрученной нити с учетом механизма разрушения как отдельных ее компонентов, так и нити в целом, основанная на концепции наислабейшего звена в современных теориях механики деформируемого твердого тела.
3. Предложена гипотеза о блокировке слабых мест стержневой нити возрастающей контактной нагрузкой при нагружении комбинированной нити, в соответствии с которой прочность нити носит экстремальный характер.
4. Разработана оптимальная в смысле успешной дальнейшей переработки структура неоднородной комбинированной нити.
5. На основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити; проведен расчет натяжения, определяющего структуру комбинированных нитей с прямолинейным расположением внутреннего компонента.
6. Методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити; дан корректный, отличающийся от всех известных, способ определения жесткости при изгибе, проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей.
7. На ткацком ленточном бесчелночном станке выработана ткань с заданными свойствами из исследуемых комбинированных нитей в качестве основы и утка.
8. Основные свойства комбинированных нитей: высокая прочность, термо- и огнестойкость, устойчивость к действию химических реагентов, устойчивость окраски к свету, оцениваемая в 3 и более баллов, возможность беспроблемной отделки и крашения являются достаточными для проектируемого материала.

9. Для исследуемых неоднородных комбинированных нитей разработан проект технических условий ТУ-4798-001-02066457-2014 (Нити обкрученные комбинированные); подана заявка № 2013158436 от 27.12.2013 на патент РФ на изобретение (Комбинированная нить и способ ее получения).
10. Для вычисления площади поверхности стержневой нити, закрытой обкручивающим компонентом, написана программа для ЭВМ (свидетельство о государственной регистрации № 2014614489 от 25.04.2014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов, В.И. Конструирование и комплексная оценка качества специальной защитной одежды пожарных: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Логинов Владимир Иванович. – М., 2010. – 48 с.
2. Давыдов, А.Ф. Исследование стойкости тканей для пошива специальной одежды / А.Ф. Давыдов, О.О. Юрцев // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2011. – № 5. – С. 10-12.
3. Создание защитной одежды для спасателей МЧС России / Л.Г. Одинцов, Л.М. Складорова, В.С. Румянцева, В.А. Дубинин // Технология гражданской безопасности. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 74-78.
4. Одинцов, Л.Г. Специальная защитная одежда спасателей МЧС России / Л.Г. Одинцов // Технология гражданской безопасности. – 2006. – Т. 3. – № 1. – С. 123-128.
5. Константинова, Н.И. Огнезащита текстильных материалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Константинова Наталия Ивановна. – М., 2004. – 39 с.
6. Родионов, В.А. Разработка оптимальных технологических параметров получения комбинированных обкрученных нитей / В.А. Родионов, Е.В. Благушина // Химические волокна. – 2013. – № 2. – С. 38-40.
7. Lemelson-MIT / STEPHANIE L. KWOLEK. Kevlar®. – 2009: <http://web.mit.edu/Invent/iow/kwolek.html>.
8. Волохина, А.В. Создание высокопрочных, термо- и огнестойких синтетических волокон / А.В. Волохина, А.М. Щетинин // Химические волокна. – 2001. – № 2. – С. 14-21.
9. Степанова, А.Б. Влияние условий эксплуатации на механические свойства параарамидных нитей: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Степанова Анна Борисовна. – СПб., 2014. – 154 с.

10. Сверхпрочное высокомодульное синтетическое волокно СВМ / Г.И. Кудрявцев, А.В. Токарев, Л.В. Авророва, В.А. Константинов // Химические волокна. – 1974. – № 6. – С. 70.
11. Захарова, Н.Н. Получение, свойства и области применения высокопрочных и термостойких волокон и нитей: учебное пособие / Н.Н. Захарова. – М.: Изд-во ГОУВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2010. – 25 с.
12. Армирующие химические волокна для композиционных материалов / Г.И. Кудрявцев, В.Я. Варшавский, А.М. Щетинин, М.Е. Казаков; под общ. ред. Г.И. Кудрявцева. – М.: Химия, 1992. – 329 с.
13. Перепелкин, К.Е. Волокна и волокнистые материалы с экстремальными свойствами. Теория и практические достижения / К.Е. Перепелкин // Химические волокна. – 1991. – № 4. – С. 27-32.
14. Перепелкин, К.Е. Волокна и волокнистые материалы для армирования композитов с экстремальными свойствами / К.Е. Перепелкин // Механика композитных материалов. – 1992. – № 3. – С. 291-306.
15. Перепелкин, К.Е. Структура и свойства волокон / К.Е. Перепелкин. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
16. Перепелкин, К.Е. Свойства параарамидных нитей армос в условиях эксплуатационных воздействий. Сравнение с другими параaramидами / К.Е. Перепелкин, Н.Н. Мачалаба, В.А. Кварцхелия // Химические волокна. – 2001. – № 2. – С. 22-28.
17. Тенденции в области развития синтетических волокон для баллистических материалов / Н.Н. Мачалаба, Г.А. Будницкий, А.М. Щетинин, Г.Г. Френкель // Химические волокна. – 2011. – № 2. – С. 31-40.
18. Структурно-механические характеристики арамидных волокон для броневых жилетов / В.С. Матвеев, Г.А. Будницкий, Г.П. Машинская и др. // Химические волокна. – 1997. – № 6. – С. 37-40.

19. Гойхман, А.Ш. Химические волокна нового поколения. Термостойкие и высокомодульные волокна: учебное пособие / А.Ш. Гойхман, А.И. Марченко. – Черкассы: Изд-во НИИТЭХИМ, 1991. – 29 с.
20. Усенко, В.А. Производство крученых и текстурированных химических нитей (теория процессов, технология кручения и текстурирования химических нитей, оборудование) / В.А. Усенко. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 352 с.
21. Трыков, П.П. Производство армированных нитей / П.П. Трыков и др. – М.: Легкая индустрия, 1970. – 312 с.
22. Коган, А.Г. Производство комбинированной пряжи и нити / А.Г. Коган. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 143 с.
23. Матуконис, А.В. Строение и механические свойства неоднородных нитей / А.В. Матуконис. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 192 с.
24. Наумова, Н.В. Разработка оптимальной структуры и технологии производства комбинированных полиамидно-полиэфирных швейных ниток: дис. ... канд. техн. наук: 15.19.02 / Наумова Наталья Викторовна. – М., 2002. – 172 с.
25. Костицин, В.Т. Теория кручения гибкой нити / В.Т. Костицын // Известия АН СССР. Отдел технических наук. – 1958. – № 2. – С. 105-119.
26. Соколов, Г.В. Вопросы теории кручения волокнистых материалов / Г.В. Соколов. – М.: Гизлегпром, 1957. – 234 с.
27. Соколов, Г.В. Кручение корда и производство кордных тканей из химических волокон / Г.В. Соколов. – М.: Легкая индустрия, 1965. – 248 с.
28. Соколов, Г.В. Теория кручения волокнистых материалов / Г.В. Соколов. – М.: Легкая индустрия, 1977. – 144 с.
29. Hearle, J.W.S. The mechanics of twisted yarns: the influence of transverse forces on tensile behaviour / J.W.S. Hearle // Journal of the Textile Institute Transactions. – 1958. – Vol. 49. – № 8. – P. 389-408.
30. Hearle, J.W.S. The breakage of twisted yarns / J.W.S. Hearle, V.M. Thakur // Journal of the Textile Institute Proceedings. – 1961. – Vol. 52. – № 2. – P. 62.

31. Hearle, J.W.S. The mechanics of twisted yarns: theoretical developments / J.W.S. Hearle, H.M.A.E. El-Behery, V.M. Thakur // Journal of the Textile Institute Proceedings. – 1961. – Vol. 52. – № 5. – P. 203.
32. Symes, W.S. The prediction of cord properties / W.S. Symes // Journal of the Textile Institute Transactions. – 1959. – Vol. 50. – № 3. – P. 241-248.
33. Кеворкян, А. Влияние крутки на прочность и истираемость искусственных нитей / А. Кеворкян // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 1960. – № 2(15). – С. 9-16.
34. Treloar, L.R.G. The stress–strain properties of multi-ply cords. Part I. Theory / L.R.G. Treloar // Journal of the Textile Institute Transactions. – 1965. – Vol. 56. – № 9. – P. 477-488.
35. Riding, G. The stress–strain properties of multi-ply cords. Part II. Experimental / G. Riding // Journal of the Textile Institute Transactions. – 1965. – Vol. 56. – № 9. – P. 489-497.
36. Белицин, М.Н. Синтетические нити / М.Н. Белицин. – М.: Легкая индустрия, 1970. – 192 с.
37. Белицин, М.Н. Синтетические и искусственные нити / М.Н. Белицин. – М.: Легкая индустрия, 1967. – 120 с.
38. Корицкий, К.И. Инженерное проектирование текстильных материалов / К.И. Корицкий. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 352 с.
39. Щербаков, В.П. О построении общей теории разрушения нити и пряжи / В.П. Щербаков // Вестник Московской государственной текстильной академии им. А.Н. Косыгина: сб. науч. тр. – 1994. – Вып. 1. – С. 134-138.
40. Щербаков, В.П. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов / В.П. Щербаков, Н.С. Скуланова. – М.: Изд-во МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. – 264 с.
41. Ушакова, К.Н. Кручение и снование ацетатных нитей / К.Н. Ушакова. – М.: Легкая индустрия, 1967. – 120 с.

42. Скуланова, Н.С. Проектирование технологии и сформированной из нетрадиционных видов сырья аппаратной шерстяной пряжи: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.02 / Скуланова Нина Сергеевна. – М., 2008. – 32 с.
43. Мамонтова, Е.В. Моделирование и проектирование смешанной полугребенной пряжи с вложением ангорской шерсти: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Мамонтова Елизавета Викторовна. – М., 2009. – 16 с.
44. Колесников, Ю.П. Разработка технологии получения аппаратной пряжи с использованием гребенного топса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Колесников Юрий Петрович. – М., 2011. – 16 с.
45. Попова, Е.Р. Разработка теории и расчет прочности скрученной камвольной пряжи: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Попова Евгения Романовна. – М., 2014. – 16 с.
46. Сделано у нас / Русское арамидное волокно – одно из лучших в мире / Инновации: <http://www.sdelanounas.ru/blogs/10942/>.
47. ООО ЛИРСОТ / 100 лет развития химических волокон в России. – 2009: <http://www.advtech.ru/lirsot/100rus.pdf>
48. Токарева, А.В. СУПЕР-НИТИ НПП «ТЕРМОТЕКС» / А.В. Токарева // 2-я Международная научно-практическая конференция «Полимерные материалы XXI века»: матер. конф. – М., 2007: http://www.newchemistry.ru/blog.php?id_company=52&n_id=864&category=item&page=16.
49. ОАО Каменскволокно / Арамидные нити / Каталог. – 2012: <http://aramid.ru/file/aramids2012-rus.pdf>.
50. ОАО Кобринская прядильно-ткацкая фабрика «Ручайка» / Пряжа / Пряжа суровая / Пряжа термостойкая: <http://www.ruchaika.by/product/37>.
51. Сборник энциклопедий / Арселон. – 2012: <http://omop.su/article/47/74288.html>.
52. ОАО «СветлогорскХимволокно» / Каталог продукции / Арселон: <http://www.sohim.by/ru/catalog/arselon/staple/>.
53. ARSELON / Продукция / Термостойкая пряжа и ткани для защитной одежды: http://www.arselon.by/rus/produc/spun_yarn_fabric/.

54. Дресвянина, Е.Н. Влияние эксплуатационных воздействий на свойства высокотермостойких полиоксадиазольных нитей Арселон, Арселон-С: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.19.01 / Дресвянина Елена Николаевна. – СПб., 2008. – 16 с.
55. ГОСТ 6611.2-73 Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 35 с.
56. ГОСТ 16009-2001 Волокно штапельное и жгут химические. Метод определения разрывной нагрузки при разрыве петель. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.
57. ГОСТ 6611.1-73 Нити текстильные. Метод определения линейной плотности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 29 с.
58. ГОСТ 28753.2-90 Нити текстильные. Метод определения неравновесности. – М.: Стандартиформ, 2005. – 6 с.
59. ГОСТ 6611.3-2003 Материалы текстильные. Нити. Методы определения числа кручений, укрутки и направления крутки. – М.: Стандартиформ, 2005. – 15 с.
60. Пат. 2113565 Российская Федерация, МПК⁶ D02G3/36, D02G3/32, D02G3/04. Комбинированная нить / С.И. Чернышева, Е.П. Лаврентьева, А.Е. Чернов, И.И. Драглина, Н.П. Орлова: заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество Финансово-производственная компания "Чайковский текстильный Дом", Товарищество с ограниченной ответственностью Научно-производственный центр "Унитекс". – № 97113162/12; заявл. 24.07.1997; опубл. 20.06.1998.
61. Пат. 2127778 Российская Федерация, МПК⁶ D02G3/38. Комбинированная нить / Ю.А. Благодаров, М.Е. Казаков, А.М. Трушников: заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью "Увиком". – № 98109221/12; заявл. 14.05.1998; опубл. 20.03.1999.
62. Пат. 2418892 Российская Федерация, МПК D02G3/36. Нить усиленная / И.В. Мельников, С.Э. Ветошкин, А.А. Турдыкулов, Н.А. Загородних: заявитель и патентообладатель Закрытое Акционерное Общество Научно-

- Производственное Объединение "Интеллект". – № 2009144460/12; заявл. 30.11.2009; опубл. 20.05.2011.
63. Пат. 2211263 Российская Федерация, МПК⁷ D03D15/12. Огнестойкая ткань / В.Г. Бова, М.П. Михайлова, В.Н. Сугак, И.В. Тихонов, Р.А. Макарова, В.А. Кузнецов, А.П. Дураковский, Е.Ф. Харченко: заявитель и патентообладатель ООО НПП "Термотекс". – № 2001134141/12; заявл. 19.12.2001; опубл. 27.08.2003.
64. Пат. 2408748 Российская Федерация, МПК D03D15/12. Огнестойкая ткань / Н.М. Левакова, Е.М. Горынина, М.Е. Буланова, С.С. Левина: заявитель и патентообладатель Левакова Наталия Марковна. – № 2009133947/12; заявл. 11.09.2009; опубл. 10.01.2011.
65. Российские торговые марки / Сырьевые / Химволокна и нити / Комбинированные огнестермостойкие нити / С.С. Алахова // Технический текстиль. – 2005. – № 12: <http://www.rustm.net/catalog/article/79.html>.
66. ТУ 92-02-22-090-92 Машина резиноокруточная марки ОРН-1. – Красная Горбатка: Селивановский машиностроительный завод, 1992. – 13 с.
67. MENEGATTO srl / Products / Covering machines: <http://www.menegatto.it>.
68. Zhejiang Jinggong Science and Technology Co.,Ltd. / Textile equipment /Yarn Covering Machine: <http://www.jinggonggroup.com>.
69. IL SIN MACHINERY CO. / Covering Machines: <http://www.covering.co.kr>.
70. Щербаков, В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов: монография / В.П. Щербаков. – М.: Тисо Принт, 2013. – 304 с.
71. Rodionov, V.A. Developing optimum process parameters for the production of twisted combination fibers / V.A. Rodionov, E.V. Blagushina // Fibre Chemistry. – 2013. – Vol. 45. – № 2. – P. 98-100.
72. Благушина, Е.В. Оптимизация структуры и технологии получения комбинированных обкрученных нитей / Е.В. Благушина, В.А. Родионов // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 5. – С. 33-36.

73. Севостьянов, А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности / А.Г. Севостьянов. – М.: Изд-во МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. – 648 с.
74. Славутский, Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента: Учебное пособие / Л.А. Славутский. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2006. – 200 с.
75. Назарова, М.В. Методы и средства исследования технологических процессов ткацкого производства: Учебное пособие / М.В. Назарова, Т.Л. Фефелова. – Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2006. – 135 с.
76. Курамшин, А.Р. Разработка структуры и технологии неоднородных комбинированных нитей для защитной одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Курамшин Артем Рустамович. – М., 2008. – 131 с.
77. Манукян, Э.А. Разработка структуры и технологии получения эластичных шнуроплетеных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Манукян Эдгар Александрович. – М., 2012. – 16 с.
78. ГОСТ 9733.3-83 Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к свету в условиях искусственного освещения (ксеноновая лампа). – М.: Издательство стандартов, 1992. – 14 с.
79. ГОСТ 18976-73 Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 5 с.
80. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности средств индивидуальной защиты: ТР ТС 019/2011: утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.11 № 878: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_138073/?frame=1.
81. Родионов, В.А. Оценка прочностных характеристик шовного соединения технических изделий, выполненного комбинированными швейными нитками / В.А. Родионов, Е.В. Благушина, М.С. Дориомедов // Химические волокна. – 2013. – № 3. – С. 51-55.

82. Rodionov, V.A. Determination of strength properties of sewing seams in technical articles produced by combined sewing threads / V.A. Rodionov, E.V. Blagushina, M.S. Doriomedov // *Fibre Chemistry*. – 2013. – Vol. 45. – № 3. – P. 175-179.
83. Родионов, В.А. Влияние натяжения на прочностные характеристики швейных ниток / В.А. Родионов, Е.В. Благушина, М.С. Дориомедов // *Химические волокна*. – 2013. – № 4. – С. 35-37.
84. Rodionov, V.A. Effect of Tension on Strength Characteristics of Sewing Threads / V.A. Rodionov, E.V. Blagushina, M.S. Doriomedov // *Fibre Chemistry*. – 2013. – Vol. 45. – № 4. – P. 224-226.
85. VÚB a.s. / Textile production / Special textiles / Flame resistant textiles: <http://www.vubas.cz/>.
86. ТУ 17-01-1488-87 Прибор для испытания нити на самоистирание ИПП. – М.: Московский опытный завод при ЦНИХБИ, 1987. – 21 с.
87. Исследование многоцикловых характеристик к истиранию арамидных нитей / Е.Е. Федорова, П.Е. Сафонов, О.Н. Фетисова, С.С. Юхин // *Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности*. – 2012. – № 1. – С. 19-21.
88. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, Ф.Х. Садыкова и др. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 390 с.
89. Полякова, Т.И. Проектирование технологии кулирного трикотажа из текстильно-металлических нитей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Полякова Татьяна Ивановна. – М., 2008. – 16 с.
90. Попов, Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней / Е.П. Попов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 296 с.
91. Егоров, Н.В. Анализ структур огнезащитных тканей из арамидных нитей и особенности их изготовления на современном ткацком станке: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Егоров Николай Вячеславович. – М., 2010. – 32 с.
92. Егоров, Н.В. Новый метод расчета жесткости нити при изгибе / Н.В. Егоров, В.П. Щербаков // *Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности*. – 2010. – № 5. – С. 23-27.

93. Щербаков, В.П. Прикладная механика нити / В.П. Щербаков. – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2001. – 301 с.
94. Севостьянов, А.Г. Механическая технология текстильных материалов: учебник для вузов / А.Г. Севостьянов, Н.А. Осьмин, В.П. Щербаков и др. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 512 с.
95. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics, New York, 1969.
96. Благущина, Е.В. Расчет площади поверхности стержневого компонента комбинированной нити, занимаемой обкручивающим компонентом / Е.В. Благущина, В.А. Родионов, А.Б. Сидоров, Б.Ю. Денисов, М.В. Шаблыгин // Химические волокна. – 2014. – № 6. – С. 57-60.
97. Blagushina, E.V. Calculation of the Area That the Enveloping Component of a Combination Fiber Occupies on the Surface of the Rod-Shaped Component / E.V. Blagushina, V.A. Rodionov, A.B. Sidorov, B.Yu. Denisov, M.V. Shablygin // Fibre Chemistry. – 2014. – Vol. 46. – № 6. – P. 388-391.
98. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.И. Кобляков. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Активный однофакторный технологический эксперимент для комбинированной нити ассортиментной позиции КР 14,3 + 2ПА 29,4

Неравновесность (в/м)

$$MY := \begin{pmatrix} 0.66 & 0.68 \\ 0.70 & 0.74 \\ 0.75 & 0.73 \\ 0.77 & 0.74 \\ 0.81 & 0.85 \end{pmatrix} \quad Ysr := \begin{pmatrix} \text{mean}[(MY^T)^{(1)}] \\ \text{mean}[(MY^T)^{(2)}] \\ \text{mean}[(MY^T)^{(3)}] \\ \text{mean}[(MY^T)^{(4)}] \\ \text{mean}[(MY^T)^{(5)}] \end{pmatrix} \quad Ysr = \begin{pmatrix} 0.67 \\ 0.72 \\ 0.74 \\ 0.755 \\ 0.83 \end{pmatrix}$$

$$S2_Y := \begin{pmatrix} \text{Var}[(MY^T)^{(1)}] \\ \text{Var}[(MY^T)^{(2)}] \\ \text{Var}[(MY^T)^{(3)}] \\ \text{Var}[(MY^T)^{(4)}] \\ \text{Var}[(MY^T)^{(5)}] \end{pmatrix} \quad S2_Y = \begin{pmatrix} 2 \times 10^{-4} \\ 8 \times 10^{-4} \\ 2 \times 10^{-4} \\ 4.5 \times 10^{-4} \\ 8 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

$$S_Y := \begin{pmatrix} \text{Stdev}[(MY^T)^{(1)}] \\ \text{Stdev}[(MY^T)^{(2)}] \\ \text{Stdev}[(MY^T)^{(3)}] \\ \text{Stdev}[(MY^T)^{(4)}] \\ \text{Stdev}[(MY^T)^{(5)}] \end{pmatrix} \quad S_Y = \begin{pmatrix} 0.014 \\ 0.028 \\ 0.014 \\ 0.021 \\ 0.028 \end{pmatrix}$$

$$S2 := \begin{pmatrix} 2 \times 10^{-4} \\ 8 \times 10^{-4} \\ 2 \times 10^{-4} \\ 4.5 \times 10^{-4} \\ 8 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad G_{\text{ww}} := \frac{\max(S2)}{5 \sum_{u=1} S2_u} \quad G = 0.327$$

Табличное значение критерия Кочрена $G_T = 0,8412$. Поскольку $G < G_T$, гипотеза об однородности дисперсий не отвергается.

$$S^2_{\text{vos}} := \text{mean}(S2) \quad S^2_{\text{vos}} = 4.9 \times 10^{-4}$$

$$x := (220 \ 290 \ 360 \ 430 \ 500)^T$$

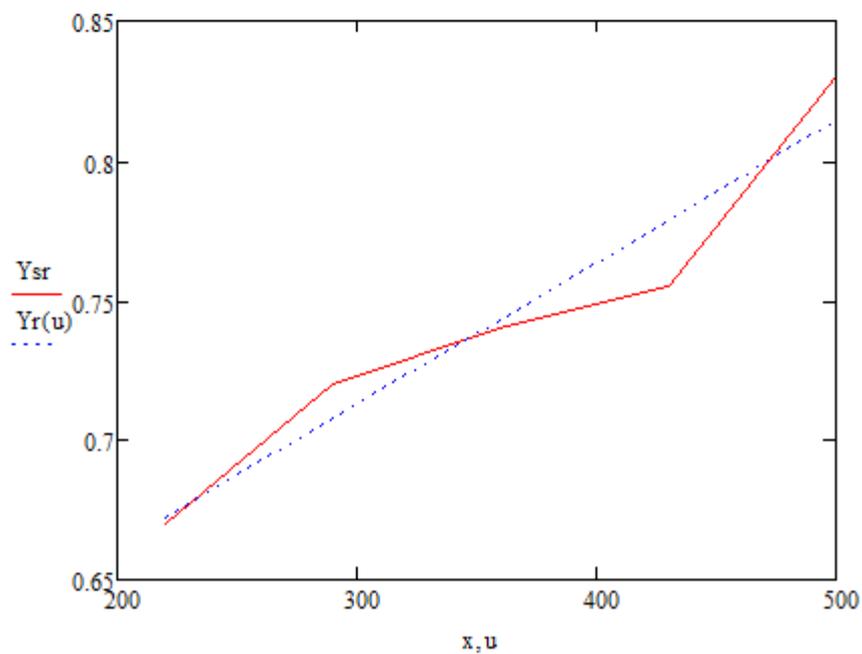
$$X := \begin{pmatrix} 1 & x_1 - \text{mean}(x) \\ 1 & x_2 - \text{mean}(x) \\ 1 & x_3 - \text{mean}(x) \\ 1 & x_4 - \text{mean}(x) \\ 1 & x_5 - \text{mean}(x) \end{pmatrix} \quad B := (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y_{\text{sr}} \quad B = \begin{pmatrix} 0.743 \\ 5.071 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

$$X^T \cdot X = \begin{pmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 4.9 \times 10^4 \end{pmatrix}$$

$$(X^T \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 2.041 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

$$u := 220, 290.. 500$$

$$Yr(u) := B_1 + B_2 \cdot (u - \text{mean}(x))$$



Неравновесность (в/м)

X_u	v						G_R	$S_{(1)}^2\{Y\}$	$X_u - \bar{X}$	$(X_u - \bar{X})^2$	$(X_u - \bar{X}) \cdot \bar{Y}$
	u	Y_{uv}		$\sum_{v=1}^m Y_{uv}$	\bar{Y}_u	$S_u^2\{Y\}$					
		1	2								
220	1	0,66	0,68	1,34	0,67	0,0002	0,327	0,00049	-140	19600	-93,8
290	2	0,70	0,74	1,44	0,72	0,0008			-70	4900	-50,4
360	3	0,75	0,73	1,48	0,74	0,0002			0	0	0
430	4	0,77	0,74	1,51	0,76	0,0005			70	4900	52,85
500	5	0,81	0,85	1,66	0,83	0,0008			140	19600	116,2
Σ	-	-	-	-	3,715	0,0025			0	49000	24,85

d_0	d_1	$d_1 X_u$	Y_{Ru}	\bar{Y}_u	$\bar{Y}_u - Y_{Ru}$	$(\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2$	Дисп. восп.	Дисп. неад.	F_R	F_R обратное	$f_2 =$	$f_1 =$
							$S_{(1)}^2\{Y\}$	$S_{(2)}^2\{Y\}$			5	3
0,743	0,0005071	0,111562	0,67201	0,67	-0,0020	0,000004024	0,00049	0,000652	1,33	0,75	9,01	
		0,147059	0,7075	0,72	0,0125	0,00015618						
		0,182556	0,743	0,74	-0,0030	0,000009						
		0,218053	0,7785	0,76	-0,0235	0,00055211						
		0,25355	0,81339	0,83	0,0160	0,00025619						
		-	-	3,715	-	0,0009775						

В рассматриваемом примере $F_R = 1,33 < F_T = 9,01$, поэтому гипотеза об адекватности линейной модели не отвергается. [73]

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВПО «МГУДТ»
Ю.С. Шустов

«__» _____ 20__ г.

НИТИ ОБКРУЧЕННЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ
ПРОЕКТ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ТУ-4798-001-02066457-2014

«СОГЛАСОВАНО»

Директор МПФ
«Термостойкие изделия»
Р.А. Макарова

«__» _____ 20__ г.

РАЗРАБОТАНО от ФГБОУ ВПО «МГУДТ»

Зам. начальника управления НИР
Ю.В. Виноградова

«__» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой
прядения
Н.С. Скуланова

«__» _____ 20__ г.

«СОГЛАСОВАНО»

Главный инженер
ЗАО «Клинское производственное
текстильно-галантерейное
объединение»
Ю.Е. Стариков

«__» _____ 20__ г.

Начальник отдела организации НИР
Н.С. Аграновская

«__» _____ 20__ г.

Начальник отдела НТИ
Н.А. Николаева

«__» _____ 20__ г.

Аспирант кафедры прядения
Е.В. Благушина

«__» _____ 20__ г.

					Технические условия				
					Нити обкрученные комбинированные	Лит.	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Благушина							
Провер.		Родионов							
Т. Контр.						Лис	1	Листов	8
Реценз.					ТУ-4798-001-02066457-2014	ФГБОУ ВПО «МГУДТ»			
Н. Контр.									
Утверд.									

Настоящие технические условия распространяются на нити обкрученные комбинированные, предназначенные для применения в текстильной промышленности для изготовления высокопрочных технических тканей, а также других отраслях промышленности, главным образом, для создания специальной защитной одежды и изделий, эксплуатирующихся при повышенных температурах и подверженных кратковременному воздействию открытого пламени.

Пример обозначения при заказе: нити обкрученные комбинированные условного обозначения 85 КР-ПА, 95 КР-ПА, ТУ 4798 – 001 – 02066457 – 2014.

1. Технические требования

1.1. Нити обкрученные комбинированные должны соответствовать требованиям настоящих технических условий.

1.2. Нити должны вырабатываться из пряжи и нитей, имеющих исходную правую (Z) крутку, с дальнейшим обкручиванием стержневой нити Русар-С арселеновой пряжей в направлении по часовой стрелке (Z) и повторным обкручиванием арселеновой пряжей в направлении против часовой стрелки (S).

1.3. Нити по основным показателям должны соответствовать нормам, указанным в таблице 1.

Таблица 1

Показатели	Условное обозначение нитей	
	85 КР-ПА	95 КР-ПА
Структура комбинированной нити	КР 14,3 + 2ПА 29,4	КР 29,4 + 2ПА 29,4
Результирующая номинальная линейная плотность, текс	87	95
Допустимое отклонение фактической линейной плотности от номинальной, %, не более	5	5
Разрывная нагрузка, определенная методом разрыва одной нити, Н, не менее	37	76
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс, не менее	43	80
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %, не более	6	6
Удлинение при разрыве, %, не более	5	4
Неравновесность, в/м, не более	3	3
Число обкручиваний, обкр/м	360±10	360±10

1.4. Нити должны выпускаться в виде одноконусных или трехконусных бобин массой намотки до 2000 г. На каждой бобине конец нити должен завязываться петлей.

					ТУ-4798-001-02066457-2014	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

- 1б.3. На каждую коробку наклеивается этикетка с указанием:
- наименования предприятия-изготовителя и его товарного знака;
 - наименования и условного обозначения нитей;
 - цвета;
 - массы брутто, нетто;
 - массы кондиционной;
 - количества вложенных бобин;
 - обозначения настоящих технических условий;
 - даты выпуска.

2. Требования безопасности

2.1. Нити 85 КР-ПА и 95 КР-ПА не выделяют в окружающую среду токсичных веществ и не влияют на санитарно-гигиенические условия труда.

2.2. Нити не растворяются в воде, умеренно устойчивы к действию разбавленных кислот, щелочей и органических растворителей.

2.3. Нити являются невзрывоопасными, несамовоспламеняющимися благодаря применению при их изготовлении огнестойких и термостойких нитей и пряжи. Нити горят при соприкосновении с открытым пламенем (без расплавления арамида) и гаснут при удалении из него.

3. Правила приемки

3.1. Нити сдают партиями. Определение партии и правила приемки должны соответствовать ГОСТ 6611.0 со следующими дополнениями:

3.1.1. Проверке качества нитей по окраске и порокам внешнего вида подвергают 100 % продукции.

3.1.2. Отбор проб продукции: для определения физико-механических показателей отбирают 10 единиц продукции для всех видов нитей, для определения массы намотки – 3 единицы продукции.

4. Методы испытаний

4.1. Отбор проб по ГОСТ 6611.0.

4.2. Определение линейной плотности нитей по ГОСТ 6611.1.

4.3. Определение разрывной нагрузки и удлинения нитей при разрыве по ГОСТ 6611.2.

4.4. Определение неравновесности нитей по ГОСТ 28753.2.

4.5. Определение числа обкручиваний осуществляют по методике, описанной в ГОСТ 6611.3 со следующими дополнениями: сначала определяют число обкручиваний внешней оплетки (S). После этого внешнюю оплетку срезают, испытываемую нить возвращают в исходное положение и определяют число обкручиваний внутренней оплетки (Z).

					ТУ-4798-001-02066457-2014	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 4.6. Определение влажности нитей по ГОСТ 6611.4.
- 4.7. Определение кондиционной массы нитей по ГОСТ 6611.0.
- 4.8. Определение массы нити в бобине по ГОСТ 8871.

5. Транспортирование и хранение

- 5.1. Нити транспортируют в соответствии с ГОСТ 7000.
- 5.2. Нити, предназначенные для отгрузки в отдаленные районы, должны быть упакованы в соответствии с ГОСТ 15846.
- 5.3. Нити должны храниться в соответствии с ГОСТ 7000 со следующими дополнениями: нити должны храниться в упакованном виде на расстоянии не менее 1 м от обогревательных приборов; количество ящиков по высоте при хранении не должно превышать шести.

6. Гарантии изготовителя

Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие качества выпускаемых нитей требованиям настоящих технических условий при соблюдении условий хранения и транспортирования. Срок годности – 5 лет.

					ТУ-4798-001-02066457-2014	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Приложение А

Перечень документов, на которые даны ссылки в технических условиях

Обозначение	Наименование
ГОСТ 6611.0-73 – 6611.4-73	Нити текстильные. Правила приемки и методы испытаний
ГОСТ 6611.1 (ИСО 2062-72)	Нити текстильные. Метод определения линейной плотности
ГОСТ 6611.2 (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88)	Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве
ГОСТ 6611.3-73 (ИСО 2061-1995)	Материалы текстильные. Нити. Методы определения числа кручений, укрутки и направления крутки
ГОСТ 6611.4	Нити текстильные. Методы определения влажности
ГОСТ 7000-80	Материалы текстильные. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение
ГОСТ 15846-2002	Продукция, отправляемая в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение
ГОСТ 30226-93	Нитки хлопчатобумажные и синтетические. Определение качества по порокам внешнего вида
ГОСТ 7376-81	Картон гофрированный. Общие технические условия
ГОСТ 18251-87	Лента клеевая

					ТУ-4798-001-02066457-2014	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Приложение Б
(справочное)

Области рационального применения нитей для изделий,
защищающих от вредных эксплуатационных воздействий

Нити обкрученные комбинированные (85 КР-ПА и 95 КР-ПА) обладают высокой прочностью, устойчивостью к действию высоких температур, открытого пламени, искр, брызг металлов. Рекомендуются для изготовления защитных материалов и изделий, в том числе спецодежды сотрудников МЧС, военнослужащих, бойцов пожарной охраны, аварийной службы, металлургов, сварщиков и др.

При использовании нитей для изготовления теплозащитных изделий имеются ограничения по воздействию мощных тепловых потоков и открытого пламени.

Нити, а также материалы, вырабатываемые из них, хорошо окрашиваются и воспринимают печать.

					ТУ-4798-001-02066457-2014	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ В

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. генерального директора

ЗАО «Клинское производственное
текстильно-галантерейное объединение»

Л.П. Пышненко

201 3 года

АКТ

о наработке образцов неоднородных комбинированных нитей
для технических тканей

В соответствии с планом проведения НИР по разработке структуры и технологии получения неоднородных комбинированных нитей для технических изделий по заказу ООО «НПФ Термостойкие изделия» были наработаны образцы нитей с различным числом обкручиваний (220, 290, 360, 430, 500 обкр/м). В качестве сырья для наработки опытных образцов взяли параарамидную комплексную нить Русар-С (КР) линейной плотности 29,4 текс и арселоновую пряжу (ПА) линейной плотности 29,4 текс. Основные характеристики исходных нитей и пряжи приведены в таблице 1.

На основании результатов эксперимента была наработана опытная партия комбинированных нитей КР 29,4 + 2ПА 29,4 с числом обкручиваний 360 обкр/м (пять килограммов), поскольку данный вариант обладает оптимальными прочностными характеристиками и низкой неравновесностью (таблица 2).

Неоднородные комбинированные нити наработывали на обкруточной машине Menegatto 1500/270/2003NG, установленной на ЗАО «Клинское производственное текстильно-галантерейное объединение» (г. Клин Московской обл.). В качестве стержня использовали комплексную нить Русар-С, а в качестве обкручивающего компонента – арселоновую пряжу.

Таблица 1 – Основные характеристики исходных нитей и пряжи

Показатели \ Вид нити		Ед. изм.	Нить Русар-С	Арселоновая пряжа
Номинальная плотность	линейная	текс	29,40	29,40
Фактическая плотность	линейная	текс	28,88	32,26
Абсолютная разрывная нагрузка		Н	66,72	4,31
Удельная разрывная нагрузка		сН/текс	226,93	14,67
Удлинение при разрыве		%	2,97	11,06
Неравновесность		в/м	4,94	17,33
Крутка		кр/м	97,00	645,00
Жесткость при кручении		у. е.	6,46	4,87
Разрывная нагрузка в петле		Н	30,75	5,91
Разрывная нагрузка в узле		Н	24,56	5,31

Таблица 2 – Основные характеристики готовых обкрученных нитей

Показатели \ Число обкручиваний		Ед. изм.	К = 360 обкр/м
Абсолютная разрывная нагрузка		Н	76,45
Удлинение при разрыве		%	3,58
Линейная плотность		текс	95,12
Удельная разрывная нагрузка		сН/текс	84,94
Неравновесность		в/м	0,57
Число обкручиваний с нижнего веретена		обкр/м	360,40
Число обкручиваний с верхнего веретена		обкр/м	360,40
Жесткость при кручении		у.е.	31,32
Разрывная нагрузка в петле		Н	31,48
Разрывная нагрузка в узле		Н	39,57

Обкручивание производили в двух противоположных направлениях. Поскольку исходные компоненты имеют предварительную правую крутку, обкручивали сначала в направлении по часовой стрелке, а потом в направлении против часовой стрелки.

Опытные образцы комбинированных нитей были перемотаны на товарную паковку на бобинажно-перемоточной машине для последующей переработки.

Процесс наработки опытной партии комбинированных нитей проходил без нарушения технологического процесса.

Комбинированные нити полученной структуры (КР 29,4 + 2ПА 29,4) обладают повышенными механическими и эксплуатационными характеристиками. Обкручивающий компонент распределяется по поверхности стержневой нити таким образом, что в дальнейшем облегчает процессы отделки, в частности крашения. Кроме того, комбинированные нити данной структуры имеют хорошие показатели неравновесности, что улучшает переработку нитей в ткань технического назначения. Такая ткань в дальнейшем может быть использована для пошива специальной защитной одежды и изготовления средств индивидуальной защиты для работников опасных профессий (пожарных, металлургов, сотрудников МЧС, военнослужащих и др.).

От ЗАО «Клинское производственное
текстильно-галантерейное объединение»

От ФБГОУ ВПО «МГУДТ»

Главный инженер

 Стариков Ю.Е.

Научный руководитель

 к.т.н., проф. Родионов В.А.

Аспирант кафедры прядения

 Благушина Е.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Техноткани»

Е.Ю. Демьяненко

«05» февраля 201 3 года

АКТ

о переработке образцов неоднородных комбинированных нитей
в ткань для технических изделий

На ООО «Техноткани» наработали образцы тканых лент трех вариантов плотности по утку. Исходным материалом для наработки опытных образцов была взята неоднородная комбинированная нить КР 29,4 + 2ПА 29,4 с числом обкручиваний 360 обкр/м. В качестве стержневого компонента комбинированной нити использовали комплексную нить Русар-С (КР) линейной плотности 29,4 текс, а в качестве обкручивающего компонента – арселоновую пряжу (ПА) линейной плотности 29,4 текс. Основные характеристики комбинированных нитей ассортиментной позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4 приведены в таблице 1.

Для наработки образцов использовали ткацкий ленточный бесчелночный станок (ТЛБ). Всего изготовили три образца тканых лент с различной плотностью по утку, плотность по основе была одинаковой. Уработка лент происходила за счет нитей основы. Результаты испытаний тканых лент представлены в таблице 2.

Процесс наработки опытных образцов тканых лент проходил без нарушения технологического процесса.

Таблица 1 – Основные характеристики комбинированных нитей

Показатели \ Число обкручиваний	Единицы измерения	K = 360 обкр/м
Абсолютная разрывная нагрузка	Н	76,45
Удлинение при разрыве	%	3,58
Линейная плотность	текс	95,12
Удельная разрывная нагрузка	сН/текс	84,94
Неравновесность	в/м	0,57
Число обкручиваний с нижнего веретена	обкр/м	360,40
Число обкручиваний с верхнего веретена	обкр/м	360,40
Жесткость при кручении	у.е.	31,32
Разрывная нагрузка в петле	Н	31,48
Разрывная нагрузка в узле	Н	39,57

Таблица 2 – Характеристики наработанных тканых лент

Образец	Длина, см	Ширина, см	Плотность по утку, нитей/10 см	Плотность по основе, нитей/10 см	Устойчивость окраски к свету, баллы	Среднее значение устойчивости к истиранию по плоскости, циклы
1	79,0	19,3	90	184	3	21 252
2	62,0	19,2	95	184	3-4	25 380
3	34,0	19,0	100	184	3	27 518

Полученные образцы тканых лент оказались достаточно жесткими и плохо драпируемыми. В то же время они обладают высокой устойчивостью к истиранию по плоскости. Кроме того, данные образцы восприимчивы к процессам отделки, в частности крашению, благодаря особенностям

распределения арселеновой пряжи по поверхности стержневой нити Русар-С. Такая ткань в дальнейшем может быть использована для пошива специальной защитной одежды и изготовления средств индивидуальной защиты для работников опасных профессий (пожарных, металлургов, сотрудников МЧС, военнослужащих и др.).

От ООО «Техноткани»

От ФБГОУ ВПО «МГУДТ»

Главный инженер

Научный руководитель



Конюкова И.М.



к.т.н., проф. Родионов В.А.

Аспирант кафедры прядения



Благушина Е.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Графики зависимостей основных характеристик комбинированных нитей от числа обкручиваний для ассортиментной позиции КР 14,3 + 2ПА 25

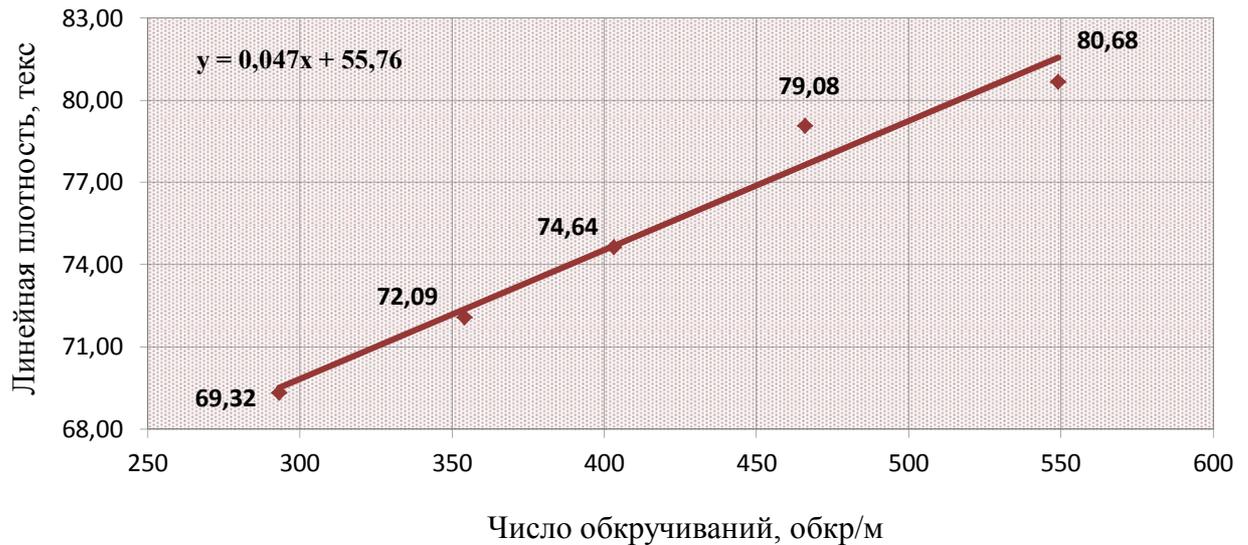


Рисунок Д.1 – График зависимости линейной плотности комбинированной нити от числа обкручиваний

Представленная на рисунке Д.1 зависимость показывает, что с увеличением числа обкручиваний линейная плотность комбинированной нити возрастает на 16,39 % за счет роста массы обкручивающего компонента.

Представленная на рисунке Д.2 зависимость свидетельствует о том, что при увеличении числа обкручиваний показатель неравновесности нити увеличивается в пределах одного витка на метр. Здесь важно отметить, что для единожды обкрученных нитей данный показатель значительно выше. Неравновесность нитей, обкрученных в направлении против часовой стрелки (S), составляет в среднем по пяти вариантам обкручивания 18,47 в/м, а в направлении по часовой стрелке (Z), совпадающим с направлением крутки исходных компонентов, в

среднем 38,21 в/м. Таким образом, для получения равновесной нити использование выбранной в главе 2 структуры целесообразно.

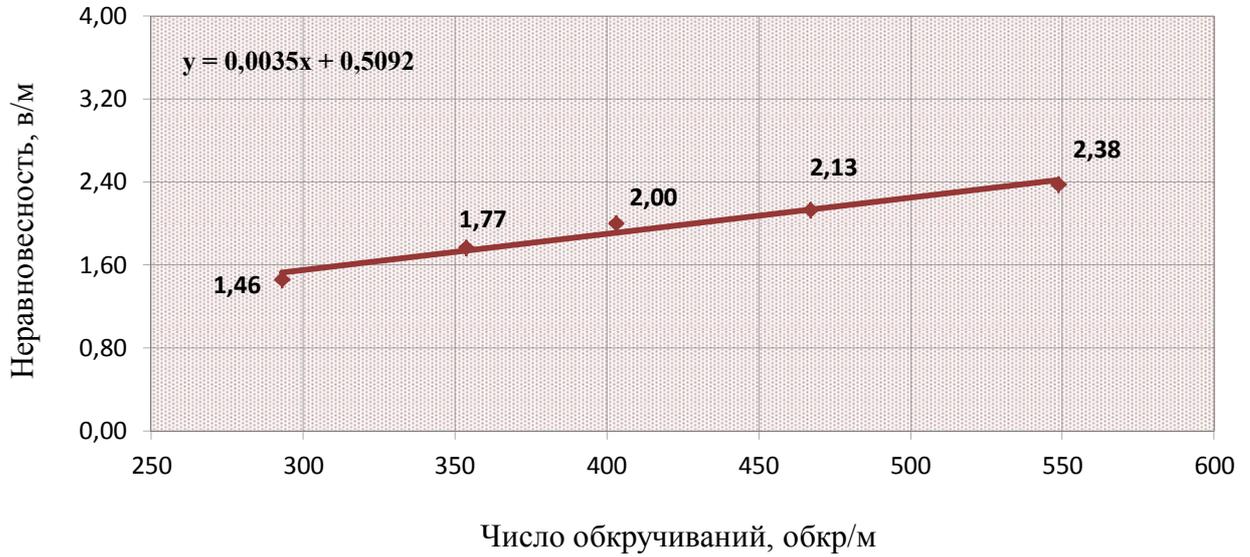


Рисунок Д.2 – График зависимости показателя неравносности комбинированной нити от числа обкручиваний

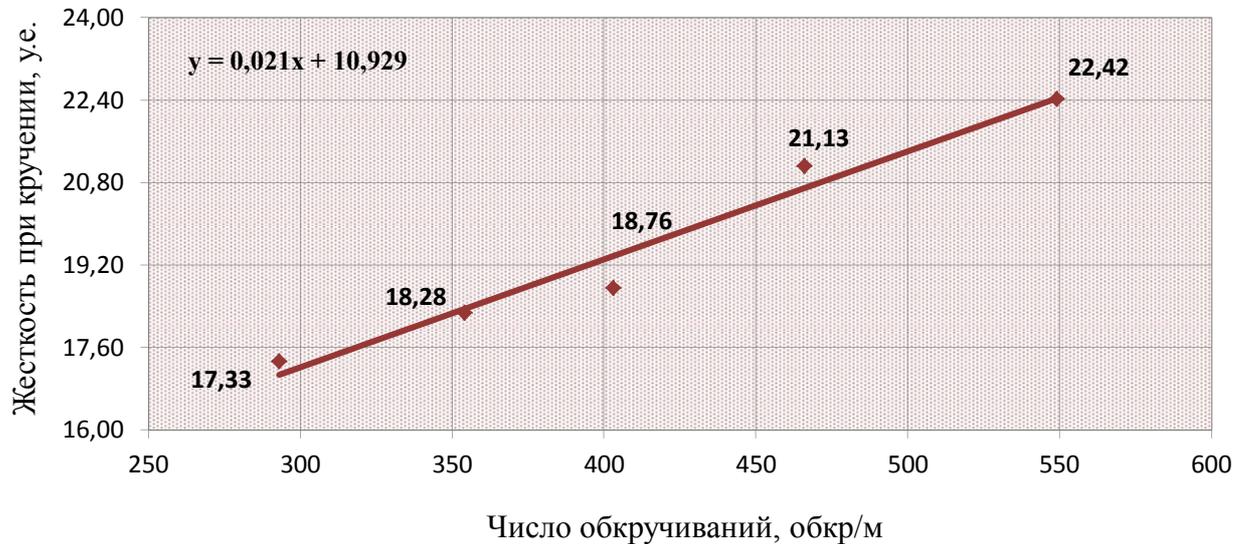


Рисунок Д.3 – График зависимости жесткости комбинированной нити при кручении от числа обкручиваний

Представленная на рисунке Д.3 зависимость показывает, что с увеличением числа обкручиваний жесткость нити при кручении возрастает на 29,37 % за счет того, что ее линейная плотность увеличивается.

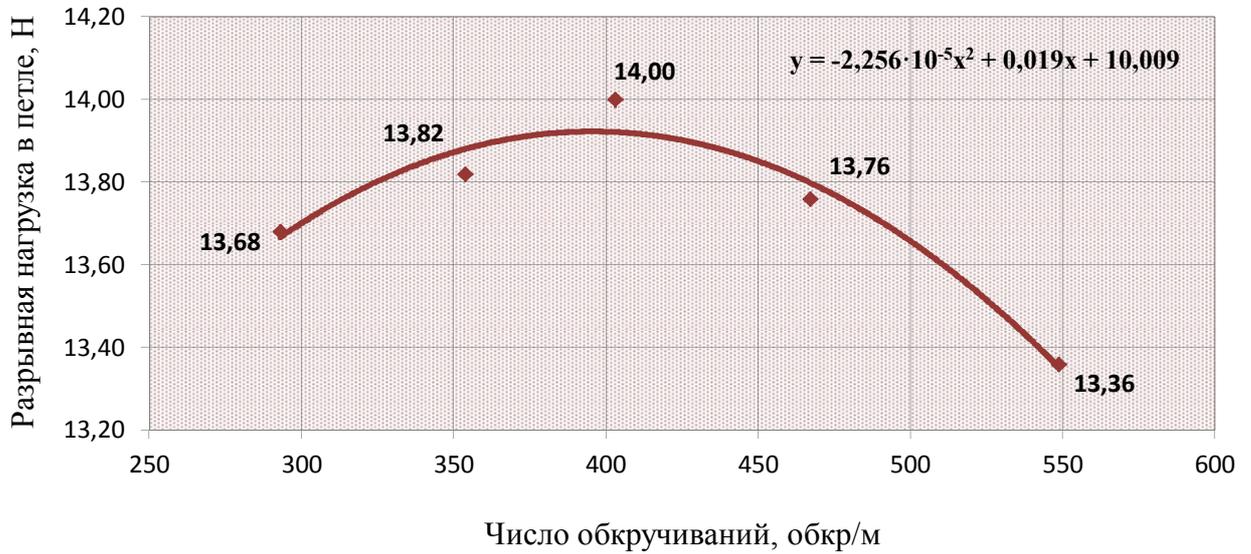


Рисунок Д.4 – График зависимости разрывной нагрузки комбинированной нити в петле от числа обкручиваний

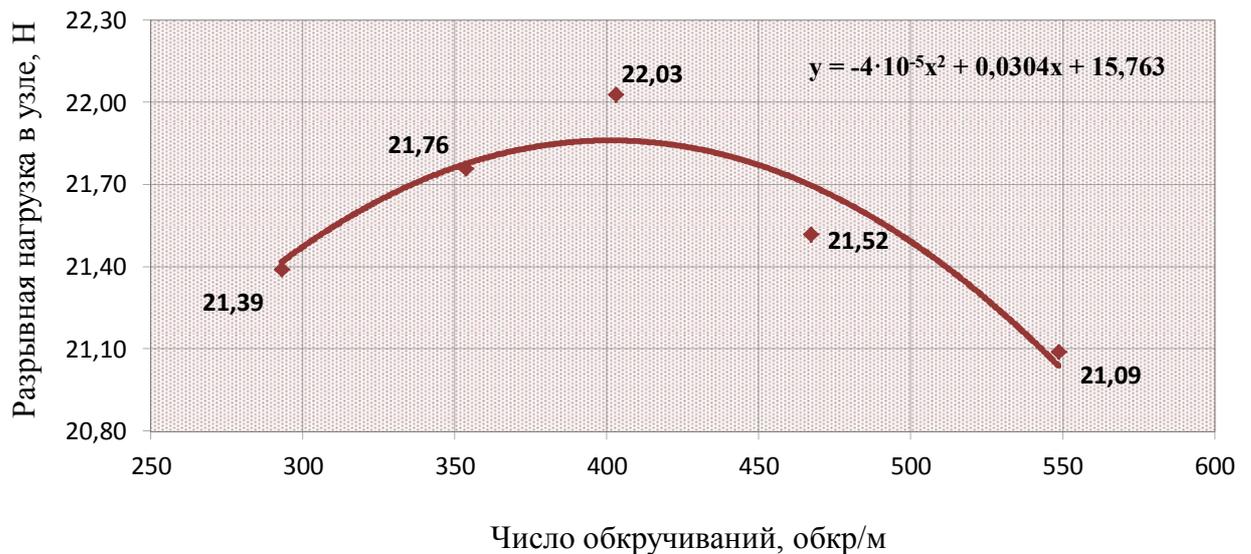


Рисунок Д.5 – График зависимости разрывной нагрузки комбинированной нити в узле от числа обкручиваний

Представленные на рисунках Д.4 и Д.5 зависимости показывают, что разрывная нагрузка в петле и в узле изменяется незначительно и колеблется в пределах 4,57 и 4,27 % соответственно (что превышает относительные доверительные ошибки средних значений) Важно отметить, что указанные показатели меньше абсолютной разрывной нагрузки в среднем на 60,66 и на 38,10 % соответственно (таблица 3.9). Это объясняется тем, что нить Русар-С довольно хрупкая на изгиб, что приводит к значительной потере прочности.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Программа для определения площади покрытия поверхности
 стержневого компонента комбинированной нити
 обкручивающим компонентом

```
#pragma once

#ifdef _UNICODE
#ifdef _M_IX86
#pragma comment(linker, "/manifestdependency:\"type='win32'
name='Microsoft.Windows.Common-Controls' version='6.0.0.0'
processorArchitecture='x86' publicKeyToken='6595b64144ccf1df' language='*'\")
#elif defined _M_IA64
#pragma comment(linker, "/manifestdependency:\"type='win32'
name='Microsoft.Windows.Common-Controls' version='6.0.0.0'
processorArchitecture='ia64' publicKeyToken='6595b64144ccf1df' language='*'\")
#elif defined _M_X64
#pragma comment(linker, "/manifestdependency:\"type='win32'
name='Microsoft.Windows.Common-Controls' version='6.0.0.0'
processorArchitecture='amd64' publicKeyToken='6595b64144ccf1df' language='*'\")
#else
#pragma comment(linker, "/manifestdependency:\"type='win32'
name='Microsoft.Windows.Common-Controls' version='6.0.0.0'
processorArchitecture='*' publicKeyToken='6595b64144ccf1df' language='*'\")
#endif
#endif

#include "resource.h"
#include <math.h>

const double PI = 3.14159265;

struct calcData{
    double H, DC, DO, P;
    int threads_count;
};

calcData cdata;

double calcThread(double TC, double TeC, double gC){
    double d=0.0357*sqrt(TeC/gC),
           m=(3+sqrt(12*TC/TeC-3))/6,
           DC=2*d*(m-1)+d;
    return DC;
}

double calculateP(double DC, double DO, double H, int threads_count){
    double l=sqrt(PI*PI*DC*DC+H*H),
           S=2*l*DO-2*DO*DO*(H*H+PI*PI*DC*DC)/(2*PI*DC*H),
           P=S/(PI*DC*H)*100;
    if(threads_count==1){
        S=l*DO;
        P=S/(PI*DC*H)*100;
    }
    if(P>100) P=100;
    return P;
}
```

```

}
int calcCount=0,scanCount=0;

calcData calculate(double TC,double TeC,double gC,
                  double TO,double TeO,double gO,
                  double n,int threads_count,
                  bool model1,bool model2)
{
    double DCP=0.0357*sqrt(TC/gC),
           DOP=0.0357*sqrt(TO/gO);
    calcData cd;
    cd.H=1000/n;
    cd.DC=model1?DCP:calcThread(TC,TeC,gC);
    cd.DO=model2?DOP:calcThread(TO,TeO,gO);
    cd.P=calculateP(cd.DC,cd.DO,cd.H,threads_count);
    cd.threads_count=threads_count;
    calcCount++;
    return cd;
}

double my_atof(char *a){
    int i=0,j=0;
    char buf[12];
    while(a[i]>0 && i<33){
        if(a[i]=='.' || a[i]=='e'){
            buf[j++]=a[i];
            i+=2;
        }
    }
    buf[j]=0;
    return atof(buf);
}

void my_ftow(double f, wchar_t *buf){
    int i=0,k=0,d=0;
    bool dZ=true;
    double f0=(int)f;
    _itow(f0,buf,10);
    while(buf[k]>0) k++;
    buf[k]='.';
    f0=f;
    while(++i<=5){
        f0=f0*10;
        d=((int)f0)%10;
        buf[k+i]='0'+d;
        if(dZ && d>0) dZ=false;
    }
    if(dZ) buf[k]=0;
    else buf[k+i]=0;
}

double scan_pixels(HDC *hdc, RECT *rect){
    int x,y;
    int innerCount=0, outerCount=0;
    if(scanCount!=calcCount){
        HDC copy=CreateCompatibleDC(*hdc);
        HBITMAP membmp=CreateCompatibleBitmap(*hdc,500,250);
        SelectObject(copy,membmp);
        BitBlt(copy,rect->left,rect->top,rect->right,rect->bottom,*hdc,rect->
        >left,rect->top,SRCCOPY);
        for(x=rect->left;x<=rect->right;x++)
            for(y=rect->top;y<=rect->bottom;y++)
                switch(GetPixel(copy,x,y)){
                    case RGB(225,222,156):
                    case RGB(186,158,79):
                        innerCount++;
                }
    }
}

```

```

        break;
        case RGB(248,180,30):
        case RGB(244,142,62):
            outerCount++;
            break;
    }
    scanCount=calcCount;
}
SelectObject(*hdc, GetStockObject(NULL_BRUSH));
SelectObject(*hdc, CreatePen(PS_DOT,1,RGB(0,0,0)));
Rectangle(*hdc,rect->left,rect->top,rect->right,rect->bottom);
if(innerCount==0 && outerCount==0)
    return -1;
else return (double)outerCount/(innerCount+outerCount)*100;
}
COLORREF getColor(double y, double begin, double end, int r, int g, int b){
    double k=abs(y-(end-begin)/2)/(end-begin);
    int dr=int(k*r)+r/2,
        dg=int(k*g)+g/2,
        db=int(k*b)+b/2;
    return RGB(dr,dg,db);
}
double draw(HDC *hdc, int _left, int _top, int width){
    COLORREF fill1=RGB(225,222,156),
        fill2=RGB(248,180,30),
        fill3=RGB(244,142,62);
    COLORREF border1=RGB(186,158,79),
        border2=RGB(248,180,30),
        border3=RGB(244,142,62);

    border2=border3;
    fill2=fill3;
    wchar_t buf[33];
    double zoom=80;
    my_ftow(cdata.H,buf);
    wcscat(buf,L" - H");
    double t=1/zoom/cdata.H,
        h=cdata.DO/2*0.7*zoom;
    int i=0,left=_top,top=_left;
    double x=0,fi,y=0,a=(cdata.DC+cdata.DO),delta=PI/6;
    int dplush=7, dplushw=0;
    if(cdata.H>1000) return 0;
    if(cdata.threads_count==2){
        SelectObject(*hdc, GetStockObject(NULL_PEN));
        SelectObject(*hdc, CreateSolidBrush(fill2));
        while(top<width && i++<50){
            for(y=0;y<=cdata.H;y+=1.0/zoom){
                x=a/2*cos(y*PI/cdata.H)+a/2;
                Ellipse(*hdc, top+y*zoom-h-dplush, left+x*zoom-
cdata.DO*zoom/2-dplushw,
                                top+y*zoom+h+dplush,
left+x*zoom+cdata.DO*zoom/2+dplushw);
            }
            top+=cdata.H*zoom*2;
        }
    }
    i=0;
    top=_left;
    SelectObject(*hdc, CreatePen(PS_SOLID,1,border3));
    SelectObject(*hdc, CreateSolidBrush(fill3));
    while(top<width && i++<50){
        for(fi=0;fi<=PI-delta;fi+=t){
            x=a/2*cos(fi+delta)+a/2;
            y=fi*cdata.H/PI;

```

```

        Ellipse(*hdc, top+y*zoom-h-dplush, left+a*zoom-x*zoom-
cdata.DO*zoom/2-dplushw,
                top+y*zoom+h+dplush, left+a*zoom-
x*zoom+cdata.DO*zoom/2+dplush);
    }
    for (fi=2*PI-delta;fi<=2*PI;fi+=t){
        x=a/2*cos(fi+delta)+a/2;
        y=fi*cdata.H/PI;
        Ellipse(*hdc, top+y*zoom-h-dplush, left+a*zoom-x*zoom-
cdata.DO*zoom/2-dplushw,
                top+y*zoom+h+dplush, left+a*zoom-
x*zoom+cdata.DO*zoom/2+dplush);
    }
    top+=cdata.H*zoom*2;
}
i=0;
top=_left;
SelectObject(*hdc, CreatePen(PS_SOLID,1,border1));
SelectObject(*hdc, CreateSolidBrush(fill1));
Rectangle(*hdc, top, left+cdata.DO*zoom/2,
          top+width, left+cdata.DC*zoom+cdata.DO*zoom/2);

SelectObject(*hdc, CreatePen(PS_SOLID,1,border3));
SelectObject(*hdc, CreateSolidBrush(fill3));
while(top<width && i++<50){
    for (fi=PI-delta;fi<=2*PI-delta;fi+=t){
        x=a/2*cos(fi+delta)+a/2;
        y=fi*cdata.H/PI;
        Ellipse(*hdc, top+y*zoom-h-dplush, left+a*zoom-x*zoom-
cdata.DO*zoom/2-dplushw,
                top+y*zoom+h+dplush, left+a*zoom-
x*zoom+cdata.DO*zoom/2+dplush);
    }
    top+=cdata.H*zoom*2;
}
if(cdata.threads_count==2){
    i=0;
    top=_left;
    SelectObject(*hdc, CreatePen(PS_SOLID,1,border2));
    SelectObject(*hdc, CreateSolidBrush(fill2));
    while(top<width && i++<50){
        for (fi=PI;fi<=2*PI;fi+=t){
            x=a/2*cos(fi)+a/2;
            y=fi*cdata.H/PI;
            Ellipse(*hdc, top+y*zoom-h-dplush, left+x*zoom-
cdata.DO*zoom/2-dplushw,
                    top+y*zoom+h+dplush,
left+x*zoom+cdata.DO*zoom/2+dplushw);
        }
        top+=cdata.H*zoom*2;
    }
}
RECT r;
r.left=10;
r.top=_top-a*zoom*0.5;
r.right=10+cdata.H*zoom*2;
r.bottom=_top+a*zoom*1.5;
return scan_pixels(hdc,&r);
}

#include "stdafx.h"
#include "threadarea.h"

#define MAX_LOADSTRING 100

```

```

// Глобальные переменные:
HINSTANCE hInst;
TCHAR szTitle[MAX_LOADSTRING];           // Текст строки заголовка
TCHAR szWindowClass[MAX_LOADSTRING];     // Имя класса главного окна

// Отправить объявления функций, включенных в этот модуль кода:
ATOM MyRegisterClass(HINSTANCE hInstance);
BOOL InitInstance(HINSTANCE, int);
LRESULT CALLBACK WndProc(HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);
INT_PTR CALLBACK About(HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);

int APIENTRY _tWinMain(HINSTANCE hInstance,
                      HINSTANCE hPrevInstance,
                      LPTSTR lpCmdLine,
                      int nCmdShow)
{
    UNREFERENCED_PARAMETER(hPrevInstance);
    UNREFERENCED_PARAMETER(lpCmdLine);

    MSG msg;
    HACCEL hAccelTable;

    // Инициализация глобальных строк
    LoadString(hInstance, IDS_APP_TITLE, szTitle, MAX_LOADSTRING);
    LoadString(hInstance, IDC_THREADAREA, szWindowClass, MAX_LOADSTRING);
    MyRegisterClass(hInstance);

    // Выполнить инициализацию приложения:
    if (!InitInstance (hInstance, nCmdShow))
    {
        return FALSE;
    }

    hAccelTable = LoadAccelerators(hInstance, MAKEINTRESOURCE(IDC_THREADAREA));

    // Цикл основного сообщения:
    while (GetMessage(&msg, NULL, 0, 0))
    {
        if (!TranslateAccelerator(msg.hwnd, hAccelTable, &msg))
        {
            TranslateMessage(&msg);
            DispatchMessage(&msg);
        }
    }

    return (int) msg.wParam;
}

ATOM MyRegisterClass(HINSTANCE hInstance)
{
    WNDCLASSEX wcx;

    wcx.cbSize = sizeof(WNDCLASSEX);

    wcx.style = CS_HREDRAW | CS_VREDRAW;
    wcx.lpfnWndProc = WndProc;
    wcx.cbClsExtra = 0;
    wcx.cbWndExtra = 0;
    wcx.hInstance = hInstance;
    wcx.hIcon = LoadIcon(hInstance,
MAKEINTRESOURCE(IDI_THREADAREA));
    wcx.hCursor = LoadCursor(NULL, IDC_ARROW);

```

```

    wcx.hbrBackground      = (HBRUSH) (COLOR_WINDOW);
    wcx.lpszMenuName = MAKEINTRESOURCE (IDC_THREADAREA);
    wcx.lpszClassName      = szWindowClass;
    wcx.hIconSm            = LoadIcon(wcx.hInstance,
MAKEINTRESOURCE (IDI_SMALL));

    return RegisterClassEx(&wcx);
}

BOOL InitInstance(HINSTANCE hInstance, int nCmdShow)
{
    HWND hWnd;

    hInst = hInstance; // Сохранить дескриптор экземпляра в глобальной переменной

    hWnd = CreateWindow(szWindowClass, szTitle, DS_MODALFRAME | WS_CAPTION |
WS_BORDER | WS_MINIMIZEBOX | WS_SYSMENU,
    CW_USEDEFAULT, CW_USEDEFAULT, 760, 310, NULL, NULL, hInstance, NULL);

    if (!hWnd)
    {
        return FALSE;
    }

    ShowWindow(hWnd, nCmdShow);
    UpdateWindow(hWnd);

    return TRUE;
}

LRESULT CALLBACK WndProc(HWND hWnd, UINT message, WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    static HWND btnStart,
Label1,Label2,Label3,edt1,edt2,Label8,Label9,Label10,Label11,Label12,

    Label4,Label5,Label6,edt3,edt4,Label7,edt5,edt6,edt7,edt8,edt9,edt12,
    select1,select2;

    char buf[33];
    wchar_t buf2[33];
    float T,T0,Te,Te0,g,g0,n,f;
    int dH=75+22,dW=300;
    int wmId, wmEvent;
    HFONT hFont,hFontLarge,hFontSmall;
    PAINTSTRUCT ps;
    HDC hdc;
    float PSQ;
    bool model1, model2;
    int tcount;

    switch (message)
    {
    case WM_CREATE:
        hFont = CreateFont(-14, 0, 0, 0, FW_NORMAL, FALSE, FALSE,
            0, ANSI_CHARSET, OUT_DEFAULT_PRECIS,
            CLIP_DEFAULT_PRECIS, DEFAULT_QUALITY,
            DEFAULT_PITCH | FF_SWISS, L"MS Shell Dlg");
        hFontLarge = CreateFont(-22, 0, 0, 0, FW_NORMAL, FALSE, FALSE,
            0, ANSI_CHARSET, OUT_DEFAULT_PRECIS,
            CLIP_DEFAULT_PRECIS, DEFAULT_QUALITY,
            DEFAULT_PITCH | FF_SWISS, L"MS Shell Dlg");
        hFontSmall = CreateFont(-10, 0, 0, 0, FW_NORMAL, FALSE, FALSE,
            0, ANSI_CHARSET, OUT_DEFAULT_PRECIS,
            CLIP_DEFAULT_PRECIS, DEFAULT_QUALITY,
            DEFAULT_PITCH | FF_SWISS, L"MS Shell Dlg");
    }
}

```

```

        Label1 = CreateWindow(_T("static"), _T("Стержневой компонент:"),
WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, 10, 11, 180, 16, hWnd, NULL, hInst, NULL);
        select1 = CreateWindow(_T("combobox"), 0, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER | CBS_DROPDOWNLIST, 280, 5, 80, 20, hWnd, (HMENU)3101, hInst,
NULL);
        SendMessage(select1, CB_ADDSTRING, 0, (LPARAM)_T("Нить"));
        SendMessage(select1, CB_ADDSTRING, 0, (LPARAM)_T("Пряжа"));
        SendMessage(select1, CB_SELECTSTRING, 0, (LPARAM)_T("Нить"));

        dH=5;
        Label2 = CreateWindow(_T("static"), _T("Линейная плотность компл.
нити, текс:"), WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, 30, 30+dH, 270, 16, hWnd,
NULL, hInst, NULL);
        Label8 = CreateWindow(_T("static"), _T("Линейная плотность эл. нити,
текс:"), WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, 30, 52+dH, 240, 16, hWnd, NULL, hInst,
NULL);
        Label3 = CreateWindow(_T("static"), _T("Плотность вещества, г/см³:"),
WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, 30, 74+dH, 240, 16, hWnd, NULL, hInst, NULL);
        edt1 = CreateWindow(_T("edit"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER, dW, 28+dH, 60, 20, hWnd, (HMENU)3001, hInst, NULL);
        edt7 = CreateWindow(_T("edit"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER, dW, 50+dH, 60, 20, hWnd, (HMENU)3007, hInst, NULL);
        edt2 = CreateWindow(_T("edit"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER, dW, 72+dH, 60, 20, hWnd, (HMENU)3002, hInst, NULL);
        dW=380;
        dH=5;
        Label4 = CreateWindow(_T("static"), _T("Обкруточный компонент:"),
WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, dW+10, 6+dH, 180, 16, hWnd, NULL, hInst, NULL);
        select2 = CreateWindow(_T("combobox"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER | CBS_DROPDOWNLIST, dW+280, 5, 80, 20, hWnd, (HMENU)3102,
hInst, NULL);
        SendMessage(select2, CB_ADDSTRING, 0, (LPARAM)_T("Нить"));
        SendMessage(select2, CB_ADDSTRING, 0, (LPARAM)_T("Пряжа"));
        SendMessage(select2, CB_SELECTSTRING, 0, (LPARAM)_T("Пряжа"));

        Label5 = CreateWindow(_T("static"), _T("Линейная плотность пряжи,
текс:"), WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, dW+30, 30+dH, 270, 16, hWnd, NULL, hInst,
NULL);
        Label9 = CreateWindow(_T("static"), _T("Линейная плотность эл. нити,
текс:"), WS_CHILD | WS_DISABLED | WS_VISIBLE | SS_LEFT, dW+30, 52+dH, 270, 16,
hWnd, NULL, hInst, NULL);
        Label6 = CreateWindow(_T("static"), _T("Плотность вещества, г/см³:"),
WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, dW+30, 74+dH, 240, 16, hWnd, NULL, hInst, NULL);
        dW+=300;
        edt3 = CreateWindow(_T("edit"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER, dW, 28+dH, 60, 20, hWnd, (HMENU)3003, hInst, NULL);
        edt8 = CreateWindow(_T("edit"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_DISABLED | WS_CHILD | WS_BORDER, dW, 50+dH, 60, 20, hWnd, (HMENU)3008, hInst,
NULL);
        edt4 = CreateWindow(_T("edit"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER, dW, 72+dH, 60, 20, hWnd, (HMENU)3004, hInst, NULL);
        dH=156-75+22;
        Label7 = CreateWindow(_T("static"), _T("Число обкручиваний на 1
метр:"), WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_LEFT, 10, dH, 240, 16, hWnd, NULL, hInst,
NULL);
        edt5 = CreateWindow(_T("edit"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER, 300, dH-2, 60, 20, hWnd, (HMENU)3005, hInst, NULL);
        dH+=22;
        Label10 = CreateWindow(_T("static"), _T("Обкручивание:"), WS_CHILD |
WS_VISIBLE | SS_LEFT, 10, dH, 240, 16, hWnd, NULL, hInst, NULL);
        edt9 = CreateWindow(_T("combobox"), NULL, WS_TABSTOP | WS_VISIBLE |
WS_CHILD | WS_BORDER | CBS_DROPDOWNLIST, 250, dH-2, 110, 20, hWnd, (HMENU)3005,
hInst, NULL);
        SendMessage(edt9, CB_ADDSTRING, 0, (LPARAM)_T("Одинарное"));

```

```

SendMessage(edt9,CB_ADDSTRING,0,(LPARAM)_T("Двойное"));
SendMessage(edt9,CB_SELECTSTRING,0,(LPARAM)_T("Двойное"));
btnStart = CreateWindowW(_T("button"),_T("Рассчитать"),WS_TABSTOP |
WS_VISIBLE | WS_CHILD,10,dH+22,120,25,hWnd,(HMENU)3006,hInst,NULL);

Label12 = CreateWindow(_T("static"),_T("Площадь покрытия поверхности
стержневой нити:"),WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_RIGHT,560,dH-14,180,35,hWnd,
NULL,hInst,NULL);
Label11 = CreateWindow(_T("static"),_T("Визуальный эффект окрашивания
нити в ткани:"),WS_CHILD | WS_VISIBLE | SS_RIGHT,380,dH-14,180,35,hWnd,
NULL,hInst,NULL);

edt6 = CreateWindow(_T("edit"),NULL,WS_TABSTOP | ES_READONLY |
WS_VISIBLE | WS_CHILD | ES_RIGHT,560,dH+15,180,30,hWnd,(HMENU)3007,hInst,
NULL);
edt12 = CreateWindow(_T("edit"),NULL,WS_TABSTOP | ES_READONLY |
WS_VISIBLE | WS_CHILD | ES_RIGHT,380,dH+15,180,30,hWnd,(HMENU)3007,hInst,
NULL);

SendMessage(select1,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(select2,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label1,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label2,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label3,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt1,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt2,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label4,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label5,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label6,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label12,WM_SETFONT,(LPARAM)hFontSmall,0);
SendMessage(Label11,WM_SETFONT,(LPARAM)hFontSmall,0);
SendMessage(edt3,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt4,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt7,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt8,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt9,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label10,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label8,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label9,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(Label7,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt5,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(btnStart,WM_SETFONT,(LPARAM)hFont,0);
SendMessage(edt6,WM_SETFONT,(LPARAM)hFontLarge,0);
SendMessage(edt12,WM_SETFONT,(LPARAM)hFontLarge,0);
SendMessage(edt1,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"14.58"));
SendMessage(edt7,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"0.145"));
SendMessage(edt2,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"1.44"));
SendMessage(edt3,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"29.93"));
SendMessage(edt4,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"1.44"));
SendMessage(edt8,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"0.145"));
SendMessage(edt9,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"2"));
SendMessage(edt5,WM_SETTEXT,0,(LPARAM)(L"360"));
break;
case WM_COMMAND:
    wmId = LOWORD(wParam);
    wmEvent = HIWORD(wParam);
    switch (wmId)
    {
    case 3101:
        GetWindowText(select1,(LPWSTR)buf2,10);
        if(wcscmp(buf2,L"Пряжа")==0){
            EnableWindow(edt7,false);
            EnableWindow(Label8,false);
            SetWindowText(Label2,_T("Линейная плотность пряжи,
текст:"));

```

```

        }else{
            EnableWindow(edt7,true);
            EnableWindow(Label8,true);
            SetWindowText(Label2,_T("Линейная плотность компл. нити,
текс:"));
        }
        break;
    case 3102:
        GetWindowText(select2,(LPWSTR)buf2,10);
        if(wcscmp(buf2,L"Пряжа")==0){
            EnableWindow(edt8,false);
            EnableWindow(Label9,false);
            SetWindowText(Label5,_T("Линейная плотность пряжи,
текс:"));
        }else{
            EnableWindow(edt8,true);
            EnableWindow(Label9,true);
            SetWindowText(Label5,_T("Линейная плотность компл. нити,
текс:"));
        }
        break;
    case 3006:
        GetWindowText(select1,(LPWSTR)buf2,10);
        modell1=wcscmp(buf2,L"Пряжа")==0;
        GetWindowText(select2,(LPWSTR)buf2,10);
        model2=wcscmp(buf2,L"Пряжа")==0;
        GetWindowText(edt9,(LPWSTR)buf2,10);
        tcount=wcscmp(buf2,L"Одинарное")==0?1:2;

        GetWindowText(edt1,(LPWSTR)buf,10);
        T=my_atof(buf);
        GetWindowText(edt7,(LPWSTR)buf,10);
        Te=my_atof(buf);
        GetWindowText(edt2,(LPWSTR)buf,10);
        g=my_atof(buf);
        GetWindowText(edt3,(LPWSTR)buf,10);
        T0=my_atof(buf);
        GetWindowText(edt8,(LPWSTR)buf,10);
        Te0=my_atof(buf);
        GetWindowText(edt4,(LPWSTR)buf,10);
        g0=my_atof(buf);
        GetWindowText(edt5,(LPWSTR)buf,10);
        n=my_atof(buf);
        cdata=calculate(T,Te,g,T0,Te0,g0,n,tcount,model1,model2);
        f=cdata.P;
        my_ftow(f,buf2);
        SendMessage(edt6, WM_SETTEXT, 0, (LPARAM)wcscat(buf2,L"%"));
        RECT r;
        r.left=0;
        r.top=170;
        r.right=800;
        r.bottom=300;
        InvalidateRect(hWnd,&r,true);
        break;
    case IDM_ABOUT:
        DialogBox(hInst, MAKEINTRESOURCE(IDD_ABOUTBOX), hWnd, About);
        break;
    case IDM_EXIT:
        DestroyWindow(hWnd);
        break;
    default:
        return DefWindowProc(hWnd, message, wParam, lParam);
    }
    break;

```

```

case WM_PAINT:
    hdc = BeginPaint(hWnd, &ps);
    PSQ=draw(&hdc,-20,195,800);
    if(PSQ!=-1){
        my_ftow(PSQ,buf2);
        SendMessage(edt12, WM_SETTEXT, 0, (LPARAM)wcsat(buf2,L"%"));
    }
    EndPaint(hWnd, &ps);
    break;
case WM_DESTROY:
    PostQuitMessage(0);
    break;
default:
    return DefWindowProc(hWnd, message, wParam, lParam);
}
return 0;
}

INT_PTR CALLBACK About(HWND hDlg, UINT message, WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    UNREFERENCED_PARAMETER(lParam);
    switch (message)
    {
    case WM_INITDIALOG:
        return (INT_PTR)TRUE;

    case WM_COMMAND:
        if (LOWORD(wParam) == IDOK || LOWORD(wParam) == IDCANCEL)
        {
            EndDialog(hDlg, LOWORD(wParam));
            return (INT_PTR)TRUE;
        }
        break;
    }
    return (INT_PTR)FALSE;
}

```

ThreadArea

Файл Справка

Стержневой компонент: Обкруточный компонент:

Линейная плотность компл. нити, текс: Линейная плотность пряжи, текс:

Линейная плотность эл. нити, текс: Линейная плотность эл. нити, текс:

Плотность вещества, г/см²: Плотность вещества, г/см²:

Число обкручиваний на 1 метр: Визуальный эффект окрашивания нити в ткани:

Обкручивание: Площадь покрытия поверхности стержневой нити:

Рисунок Е.1 – Пример расчета для позиции КР 14,3 + 2ПА 29,4

ThreadArea

Файл Справка

Стержневой компонент: Обкруточный компонент:

Линейная плотность компл. нити, текс: Линейная плотность пряжи, текс:

Линейная плотность эл. нити, текс: Линейная плотность эл. нити, текс:

Плотность вещества, г/см²: Плотность вещества, г/см²:

Число обкручиваний на 1 метр: Визуальный эффект окрашивания нити в ткани:

Обкручивание: Площадь покрытия поверхности стержневой нити:

Рисунок Е.2 – Пример расчета для позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4

ThreadArea

Файл Справка

Стержневой компонент: Обкруточный компонент:

Линейная плотность компл. нити, текс: Линейная плотность пряжи, текс:

Линейная плотность эл. нити, текс: Линейная плотность эл. нити, текс:

Плотность вещества, г/см²: Плотность вещества, г/см²:

Число обкручиваний на 1 метр: Визуальный эффект окрашивания нити в ткани:

Обкручивание: Площадь покрытия поверхности стержневой нити:

Рисунок Е.3 – Пример расчета для позиции КР 14,3 + 2ПА 25

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014614489

**Определение площади покрытия стержневого компонента
комбинированной нити обкручивающим компонентом**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Московский государственный университет дизайна
и технологии» (RU)*

Авторы: *Денисова Екатерина Валерьевна (RU), Денисов Борис
Юрьевич (RU), Родионов Вячеслав Алексеевич (RU), Сидоров
Аскольд Борисович (RU)*

Заявка № 2014611812

Дата поступления 05 марта 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 апреля 2014 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2014614489

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации

(свидетельства):

2014614489

Дата регистрации: 25.04.2014

Номер и дата поступления заявки:

2014611812 05.03.2014

Дата публикации: [20.05.2014](#)

Авторы:

Денисова Екатерина Валерьевна (RU),

Денисов Борис Юрьевич (RU),

Родионов Вячеслав Алексеевич (RU),

Сидоров Аскольд Борисович (RU)

Правообладатель:

федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего

профессионального образования «Московский

государственный университет дизайна и

технологии» (RU)

Название программы для ЭВМ:

Определение площади покрытия стержневого компонента комбинированной нити обкручивающим компонентом**Реферат:**

Программа предназначена для определения площади стержневого компонента комбинированной нити, занимаемой обкручивающим компонентом. Расчет данного показателя позволяет прогнозировать качество окрашивания комбинированной нити в зависимости от процентного содержания стержневого и обкручивающего компонентов и технологических параметров выработки нити. Программа также визуализирует комбинированную нить в соответствии с заданными значениями основных показателей и дает графическую оценку качества окрашивания нити через ее проекцию на плоскость.

Тип реализующей ЭВМ: ПК**Язык программирования:** C++**Вид и версия операционной системы:** Windows 7**Объем программы для ЭВМ:** 35 Кб