

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Костромской государственный университет»

На правах рукописи



Белова Ирина Сергеевна

**РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ КЛЕЕВОГО УПРОЧНЕНИЯ
ПРОДУКТОВ ПРЯДЕНИЯ**

2.6.16 – Технология производства изделий текстильной и легкой
промышленности

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Рудовский П. Н.

Кострома
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА..... | 9 |
| 1.1 Недостатки традиционных способов получения пряжи..... | 9 |
| 1.2 Обзор вьюрковых и клеевых способов получения пряжи..... | 10 |
| 1.3 Методы экспериментального определения адгезии | 25 |
| 1.4 Постановка задач..... | 32 |
| Выводы по главе 1..... | 32 |
| ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЯЖИ СОВМЕЩЕННЫМ ВЬЮРКОВЫМ И КЛЕЕВЫМ СПОСОБОМ..... | 34 |
| 2.1 Выбор клеящих составов..... | 34 |
| 2.2 Определение адгезии клеящих составов к целлюлозе..... | 36 |
| Выводы по главе 2..... | 40 |
| ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КЛЕЕВОЙ ПРЯЖИ..... | 41 |
| 3.1 Описание экспериментальной установки | 41 |
| 3.2 Отработка режимов формирования пряжи..... | 43 |
| 3.3 Анализ показателей качества | 44 |
| Выводы по главе 3..... | 59 |
| ГЛАВА 4. МОДЕЛЬ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРЯДЕНИЯ..... | 61 |
| 4.1 Анализ распределения волокон в пряже и ровнице..... | 61 |
| 4.2 Бинаризация изображений | 66 |
| 4.3 Распределение волокон в сечении пряжи и ровницы | 70 |
| 4.4 Определение числа контактов между волокнами в поперечном сечении продукта прядения..... | 76 |
| 4.5 Расчет площади контакта волокон..... | 80 |
| 4.6 Разработка математической модели прочности клеевого продукта прядения..... | 86 |
| 4.7 Имитационно-статистическая модель прочности клеевого продукта прядения..... | 108 |
| Выводы по главе 4..... | 110 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 114 |
| Приложение А | 125 |
| Приложение Б..... | 129 |
| Приложение В | 132 |
| Приложение Г..... | 135 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В последнее время продукция из льна занимает достаточно уверенную позицию на рынке текстильных изделий. Согласно прогнозу ЭКЦ «ИнвестПроект» [1], объем производства текстильных тканей в России к 2035 году может достигнуть 14,2 млрд. кв. м., что позволит сократить импорт тканей. Статистика инвестиционного климата в отрасль производства тканей позитивна, хотя частные инвестиции несколько снизились. Если в ближайшие 5–10 лет российская текстильная отрасль действительно сможет освоить большую часть внутреннего рынка, то выйдет на значительные объемы экспорта не только в ближнее, но и в дальнее зарубежье. По итогам 2022 года производство льняных тканей в России увеличилось на 2% и достигло уровня 25,7 млн. кв. м. К 2035 году рост производства тканей может составить 22%.

Ассортимент льняных тканей достаточно широк: столовые, бельевые, полотенечные, одежные и др. Актуальность развития производства льняной продукции обуславливается, прежде всего, его замечательными природными свойствами. Льняное волокно иногда называют «золотом» текстиля. Лен отвечает многим требованиям, предъявляемым к изделиям: прочность, стойкость к истиранию, гигроскопичность, теплостойкость, светоустойчивость, отсутствие статического электричества и т.д. Поэтому многие специалисты прогнозируют рост производства различных изделий из чисто льняных тканей, а также льняных тканей с некоторой долей включения химических волокон или нитей.

При производстве льняной пряжи применяют кольцевые машины сухого и мокрого прядения.

Кольцевая пряжа мокрого прядения обладает хорошими потребительскими свойствами. Однако на сегодняшний день традиционные способы производства льняной пряжи с применением кручения исчерпали

свои возможности в увеличении скорости выпуска и стали малопроизводительными.

Данную проблему пытались решить путем применения вьюркового способа прядения. Это позволило повысить производительность оборудования и производительность труда. Однако получаемая пряжа имеет низкую прочность.

Актуальность выбранной темы исследования согласуется с государственной политикой Российской Федерации, направленной на решение задач по импортозамещению [2]. Одной из важнейших задач государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» является обеспечение технологического развития отечественной промышленности за счет создания прорывных, ресурсосберегающих, экологически безопасных промышленных технологий [3, 4]. Развитие легкой, в том числе текстильной промышленности, отвечает задачам, необходимым для достижения долгосрочных целей устойчивого социально-экономического развития РФ.

Целью исследования является создание высокопроизводительного способа получения льняной пряжи за счет сочетания вьюркового и клеевого способов формирования.

Задачи исследования:

- анализ существующих методов клеевых способов получения пряжи;
- разработка экспериментальной установки для изготовления пряжи совмещенным вьюрково-клеевым способом;
- обоснование технологических параметров устройства для получения пряжи совмещенным вьюрковым и клеевым способом прядения;
- планирование экспериментов по изучению зависимости прочности пряжи от технологических параметров процесса формирования;
- наработка образцов льняной пряжи совмещенным вьюрково-клеевым способом прядения;
- исследование характеристик полученного продукта прядения;

- исследование распределения волокон в сечении пряжи;
- разработка математической модели для прогнозирования прочности пряжи, полученной совмещенным способом;
- разработка имитационно-статистической модели для прогнозирования прочности продуктов прядения, полученных совмещенным вьюрково-клеевым способом.

Научная новизна работы заключается в разработке высокопроизводительного и экологичного способа изготовления льняной пряжи путем сочетания вьюркового и клеевого способов и методики прогнозирования ее физико-механических свойств.

В диссертации впервые:

- разработана методика по определению силы адгезии льняного волокна к связующему;
- проведен анализ распределения волокон по сечению ровницы и пряжи, формируемых вьюрковым способом;
- предложены формулы для расчета числа контактов волокон в продукте прядения с учетом их распределения по сечению;
- разработана имитационно-статистическая модель прогнозирования прочности вьюрковой пряжи с клеевым упрочнением.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

- экспериментально обоснованы режимы формирования вьюрковой пряжи с клеевым упрочнением;
- обосновано использование в качестве клеящего состава серицина, экологически чистого клея, получаемого из отходов шелкомотания;
- разработаны рекомендации по использованию клеевых составов для упрочнения вьюрковой пряжи, обеспечивающие уровень прочности, необходимый для использования пряжи в ткачестве.

Методология и методы исследования.

При выполнении работы были применены теоретические и экспериментальные методы исследования, методы теоретической механики, функциональное моделирование, методы текстильного материаловедения, спектральный анализ неровноты продуктов прядения, методы математической статистики.

При обработке экспериментальных данных применялись ПЭВМ и пакеты прикладных программ: Microsoft Excel, MathCAD 15, MatLab, Adobe PhotoShop 8.0, а также разработаны собственные программные продукты на языке программирования Python.

Достоверность полученных результатов обусловлена их согласованностью с известными теоретическими и экспериментальными данными, применением методов обработки результатов многократных испытаний, применением средств современной компьютерной обработки данных и программирования, основных методов статистической обработки экспериментальных данных при доверительной вероятности не менее 95 %.

Апробация результатов исследования:

Основные материалы работы были доложены на:

- XXII Международном научно-практическом форуме «SMARTEX-2019», г. Иваново;
- Международном научно-техническом симпозиуме «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина» на международном Косыгинском форуме-2019. г. Москва;
- Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова, г. Москва;
- Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий», 2020 г., г. Кострома;

- Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий», 2021г., г. Кострома;
- Международном научно-техническом симпозиуме, посвященном 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук», г. Москва;
- Всероссийском семинаре по теории механизмов и машин (Костромской филиал по ТММ им. И. И. Артоболевского, РАН), секция «Текстильное машиноведение», 2022, г. Кострома;
- Национальной молодежной научно-технической конференции «ПОИСК-2023», г. Иваново
- Расширенном заседании кафедры Теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин ФГБОУ ВО «Костромской государственной академии техники и транспорта», г. Кострома.

Личный вклад автора. Соискателю принадлежит основная роль в непосредственном выполнении теоретических и экспериментальных исследований, обобщении результатов, формулировке выводов.

Публикации. По теме исследования опубликовано 13 научных работ. В том числе 5 статей в журналах, рекомендуемых ВАК для опубликования основных научных результатов кандидатских диссертаций, из них в журналах, индексируемых в международных базах: 3 статьи SCOPUS и 1 статья Web of Science.

Содержание диссертации соответствует п. 1, 2, 3, 6 паспорта специальности 2.6.16 «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности».

П1. Инновационное развитие технологий первичной обработки и переработки волокон и производства нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности (ИТЛП).

П2. Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов и ИТЛП.

ПЗ. Технологии (в том числе, нанотехнологии) волокон, нитей, материалов и ИТЛП.

ПБ. Разработка малоотходных, энергосберегающих, экологических технологий производства и первичной обработки текстильных материалов и сырья.

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов и заключения, списка использованной литературы из 92 наименований и приложений. Основная часть работы изложена на 124 страницах, содержит 80 рисунков и 20 таблиц. Приложения представлены на 11 страницах.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Недостатки традиционных способов получения пряжи

При промышленном производстве льняной пряжи традиционно применяют кольцевые прядильные машины сухого и мокрого прядения. В результате сухого прядения получают ворсистую и толстую пряжу. При применении мокрого прядения можно получить льняную пряжу, значительно отличающуюся по качеству, прочности и другим характеристикам. Метод мокрого прядения учитывает специфику строения льна. Смачивание ровницы перед вытягиванием способствует размягчению пектиновых веществ, входящих в состав льняного волокна, в результате чего элементарные волокна или их группы могут свободно скользить относительно друг друга во время вытягивания. Это приводит к улучшению свойств готовой льняной пряжи, она получается более ровной и гладкой.

Важнейшей частью кольцевой прядильной машины является пара кольцо-бегунок. Производительность машины, т.е. частота вращения веретен, зависит от скорости передвижения бегунка по кольцу. Однако известно, что скорость бегунков более 30 м/с приводит к значительному сокращению срока их службы, повышению натяжения нити и, как следствие, резкому увеличению обрывности. Также возрастают затраты на электроэнергию. Вследствие этих ограничений полагают, что на сегодняшний день традиционные способы производства пряжи с применением кручения исчерпали свои возможности в увеличении скорости выпуска и производительности.

Неоднократно проводилось совершенствование кольцевых прядильных машин с целью повышения их производительности и автоматизации основных и вспомогательных операций [5]. Однако значительных результатов достигнуто не было.

Решению проблемы низкой производительности посвящен ряд исследований [6 – 12, 18] по разработке бескруточных технологий получения льняной ровницы и льняной пряжи. Однако анализ их результатов показал, что вместе с ростом скорости выпуска продукта уменьшается его прочность. Поэтому при выработке пряжи бескруточным способом вопрос её прочности требует особого внимания.

Таким образом, изучение существующих способов прядения привело к выводу о том, что значительное повышение скорости прядения и производительности возможно при исключении из прядильного процесса связи веретена, кольца и бегунка.

1.2 Обзор вьюрковых и клеевых способов получения пряжи

Путь решения проблемы производительности оборудования и труда при производстве льняной пряжи связан с разделением протекания процессов кручения и наматывания. Учитывая этот фактор, условно способы прядения можно разделить две группы. К первой группе относятся способы, в процессе реализации которых формирование пряжи осуществляется при помощи механических вращающихся камер, воздушного вихря: пневмомеханическое, электростатическое, пневматическое прядение. Эти способы прядения нашли применение в сухом прядении лубяных волокон. Ко второй группе можно отнести способы прядения, в процессе которых ровницу вытягивают в вытяжном приборе, а упрочнение выходящей мычки происходит за счет уплотнения ложным кручением, скручивания с синтетической нитью, соединения волокон экструдированным расплавом или путем проклеивания мычки натуральными или искусственными клеями. К этой группе можно отнести вьюрковое прядение, применяемое в мокром прядении. При таком способе получения пряжи классическая кольцевая прядильная машина заменена вьюрковой, при этом исключается процесс перематывания пряжи на мотальной машине [13].

Данный способ в свое время был разработан в КНИИЛПе и СКБТМ (специализированное конструкторское бюро машиностроения). Суть метода состоит в том, что химически обработанную ровницу, полученную обычным способом, утоняют в вытяжном приборе. Упрочнение выходящей мычки производят с помощью ложного кручения и склеивания волокон за счет пектиновых веществ, содержащихся в структуре льняного волокна, или путем нанесения специальных клеевых составов. В процессе высыхания пряжа приобретает прочность.

В КНИИЛПе в начальный период разработки вьюрковой технологии упрочнение пряжи предполагалось осуществить за счет пропитки льняной ровницы различными клеящими составами в прядильном корыте прядильной машины. Для пропитки ровницы использовали растворы с различной концентрацией крахмала. Прочностные показатели находились на уровне показателей кольцевой пряжи и возрастали с увеличением содержания крахмала. Такой способ упрочнения оказался эффективным только с введением непосредственно на прядильной машине подсушивания пряжи перед наматыванием ее на паковку. По причинам: замедление скорости выпуска из-за недосушивания пряжи, увеличение энергозатрат, ухудшение условий труда на машине, такая схема была отклонена. Дальнейшие работы по проклеиванию пряжи проводились в КНИИЛПе с использованием клеящего препарата карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). Результаты исследований показали, что в этом случае наблюдаются все указанные выше недостатки. Основной причиной высоких энергозатрат является значительное количество клеящего состава (до 10%) в составе пряжи. Работы по упрочнению пряжи клеевым способом были не завершены.

Благодаря отсутствию веретена появилась возможность вариативности направления хода технологического процесса прядильной линии машины: сверху вниз или снизу вверх (рис. 1).

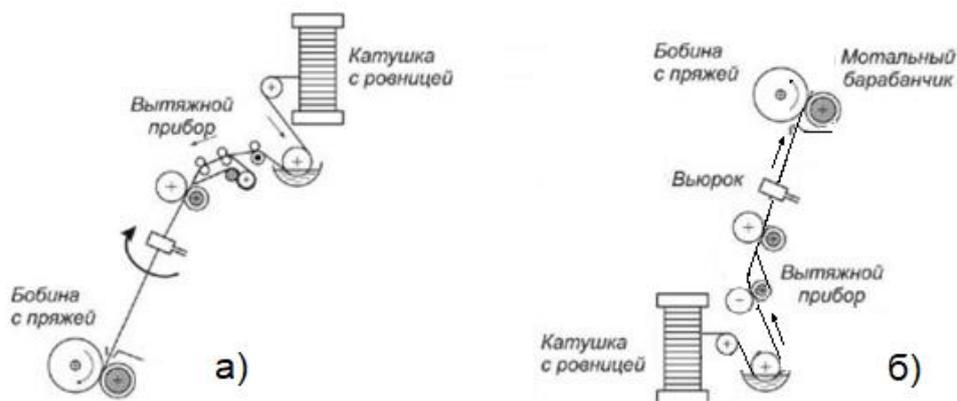


Рис 1. Технологическая схема пневмовьюрковой прядильной машины:

а – схема с движением продукта сверху вниз, б – схема с движением продукта снизу вверх

Химически обработанная ровница, намотанная на перфорированные двухфлянцевые катушки 1, пропускается через прядильное корыто. Затем она проходит через вытяжной прибор 2 и поступает в пневмовьюрок 3. Пневмовьюрок представляет собой простое устройство с центральным каналом, по которому передвигается нить, и касательными к этому каналу соплами, отвечающими за создание воздушного вихря. С помощью вьюрка осуществляется процесс ложного кручения. Воздушный поток способствует образованию участков нити, разделенных вьюрком, с равным количеством противоположных по знаку витков крутки. Таким образом, готовая пряжа в проекции на большую длину имеет нулевую крутку. Далее производится наматывание пряжи на бобину 4.

Скорость процесса прядения на пневмовьюрковой прядильной машине достигает 100 – 150 м/мин. При формировании нить не испытывает высокого натяжения, процесс прядения идет достаточно плавно. Это способствует снижению обрывности и возможности увеличения выпускной скорости, что позволяет получить на выходе большую паковку с пряжей.

Вьюрковое прядение в основном применяют для химически обработанной чистольняной ровницы. При добавлении химических волокон

происходит уменьшение количества контактов между льняными волокнами, что приводит к значительному снижению показателей прочности пряжи. В [14] отмечено, что в результате применения вьюрковых прядильных машин при производстве льняной пряжи произошло повышение производительности оборудования в 4–6 раз, а производительности труда в 2,5 раза в сравнении с использованием кольцевых машин. В [15–17] проведены экономические расчеты, отражающие эффективность применения вьюрковых машин.

Но, несмотря на достоинства вьюрковых машин, получаемая таким способом бескруточная пряжа после высыхания имеет достаточно низкую прочность. Проводились многочисленные исследования с целью упрочнения получаемого продукта прядения. Так, одним из способов повышения прочности бескруточной пряжи является использование в процессе ее изготовления двух пневмовьюрков. В [18] отражены результаты применения этого метода.

Другой способ упрочнения продукта прядения основан на идее пропитки ровницы клеевыми составами. Клеевые способы формирования пряжи являются одним из перспективных направлений развития технологии прядильного производства, позволяющим существенно повысить производительность оборудования [19]. Их суть состоит в том, что мычку или ровницу, пропитывают некоторым связующим. Если пропитывается мычка, то основным эффектом является получение требуемой прочности без кручения продукта. Это позволяет увеличить скорость формирования пряжи до (100...300) м/мин [20]. В случае пропитывания ровницы появляется дополнительный эффект – улучшение контроля за движением волокон при вытягивании за счет сил поверхностного натяжения.

В [21] отмечается, что впервые способ прядения без кручения с проклеиванием был применен в льнопрядении. В настоящее время в качестве склеивающего вещества применяют крахмал и поливиниловый спирт (ПВС).

Пряжу вырабатывают из хлопкового, вискозного, лавсанового, и акрилового волокон длиной (30...80) мм и линейной плотностью (0,15...0,5) текс.

В [22] приводится обзор способов, использующих для формирования пряжи пропитанную связующим массу волокон. Отмечается, что такие способы применимы для получения пряжи из льна и химических волокон. Фирма «Rietter» (Швейцария) предлагает одновременно со склеиванием волокон производить их окрашивание.

Сформированная таким образом пряжа наматывается в бобины крестовой намотки. Для предотвращения склеивания прилегающих слоев намотки пряжа должна высушиваться. Для формирования компактной пряжи и снижения ее влажности используют устройства ложного кручения. Однако несмотря на их применение влажность сформированной пряжи может составлять до 70-80%. Высушивание такой пряжи с учетом высокой скорости ее движения требует значительных энергозатрат. Так по данным [23] при скорости выпуска 100 м/мин они могут составлять до 0,2 Вт/текс.

В 50-е годы американская фирма «Fibrebond laboratriz» представила новый способ получения бескруточной пряжи «Тек-ја». Было предложено на первом этапе производства пряжи проклеивать ровницу, затем вытягивать в пряжу, сушить и наматывать в паковку [24].

В Париже на выставке ИТМА-71 швейцарская фирма «Rieter» предложила способ и устройство для производства пряжи клеевым способом, получивший название способ Равена (рис. 2). Способ получения кольцевой пряжи из ровницы, смоченной связующим, получил название «Равена-Равил». При способе «Равена-Расет» [25] вырабатывается некрученая пряжа, прочность которой обеспечивается за счет проклеивания связующим.

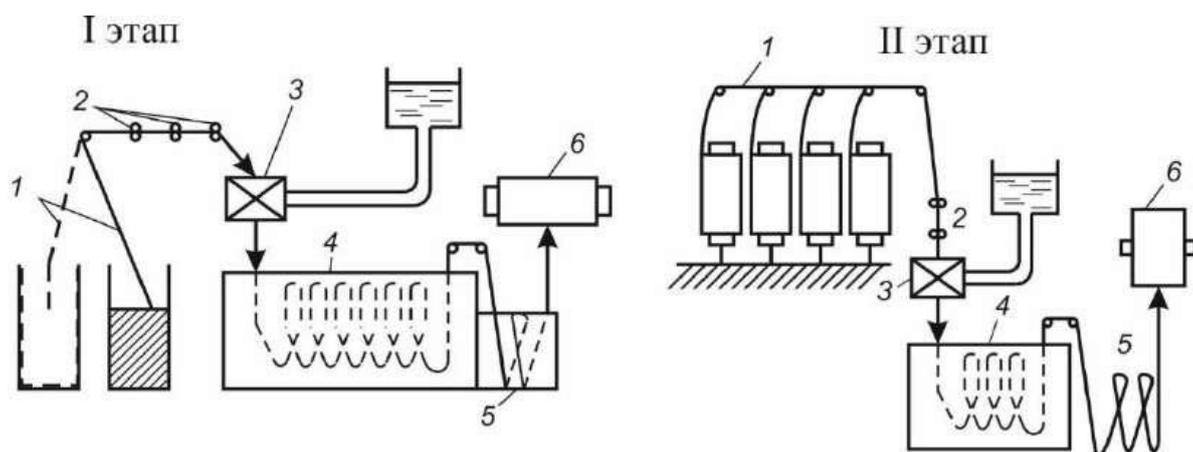


Рис.2. Технологическая схема получения пряжи по способу Ravena

На I этапе лента 1 из тазов поступает в трехцилиндровый вытяжной прибор 2. Затем она вытягивается и с целью пропитки клеевым раствором в виде мычки поступает в пропиточное устройство 3. Далее производится отжим, и склеенная ленточка поступает в камеру обогрева 4 с целью подсушивания для дальнейшей ее переработки. Затем она проходит зону охлаждения 5 и, в завершение, наматывается на бобину крестовой намотки 6. С целью получения крашеной ленты существует возможность добавлять красители в пропиточное устройство. Скорость выпуска составляет 100–300 м/мин.

Полученную с этой машины ленту можно использовать как самостоятельный продукт для выработки ковровой пряжи, а также она является входящим продуктом для II этапа данной технологии получения бескруточной пряжи (рис.2). Пакетки с пряжей 1 соединяются и поступают в однозонный вытяжной прибор 2 с вытяжкой 8–100. В результате вытяжки получившаяся мычка снова поступает в пропиточное устройство 3. Входящие в состав продукта прядения волокна склеиваются друг с другом и поступают в зону сушки 4. Затем – в зону охлаждения 5, и далее наматываются на бобину 6. Полученную пряжу возможно применять в ткачестве без шлихтования. Для производства пряжи по способу Ravena используют волокна длиной до 60 мм. В результате можно изготовить пряжу, линейная плотность которой составляет 64–680 текс.

Несмотря на свои преимущества, способ Ravena достаточно сложен в техническом исполнении, поэтому не получил широкого применения.

Текстильный исследовательский центр штата Техас (США) предложил другой исключаящий кручение способ производства х/б пряжи новых видов. Была получена такая пряжа, что значения прочности и удлинения давали возможность последующего ее использования как основы и утка на обычных ткацких челночных станках. Были достигнуты следующие результаты:

- на опытной машине со скоростью 400 м/мин из ленты вырабатывалась пряжа с линейной плотностью 30 текс;

- плоское сечение пряжи создает необычно большой застил ткани; ткань из такой некрученной пряжи на вид более тяжелая по сравнению с обычной тканью из крученной пряжи, но на самом деле легкая;

- благодаря жесткости и сплюснутости, эта некрученная пряжа лучше выносит нагрузку натяжения при переработке на ткацких станках;

- ткань из некрученной пряжи дает меньше усадку и отличается большим блеском из-за отсутствия крутки, которая рассеивает свет;

- окрашенная ткань выглядит мерсеризованной, окрашиваемость улучшается благодаря отсутствию крутки;

- прядение из ленты исключает ровничный переход.

Процесс бескруточного прядения начинается со смешивания основных волокон со склеивающими. Это возможно в подготовительном отделе в смесовых машинах или на ленточных смесовых машинах. Лента со смешанными волокнами подается в прядильную машину. Переработка ленты в пряжу происходит в 5 этапов:

- 1) предварительная вытяжка, смачивание ленты и активация проклеивающего состава;
- 2) прохождение ленты через водяной крутильный элемент, который дополнительно активирует и желатинирует проклеивающий состав,

улучшает пропитку основных волокон и придает временную прочность ленте, вытяжка отсутствует;

- 3) окончательная вытяжка от 10 до 40;
- 4) обработка в устройстве ложной крутки. Устройство состоит из двух водяных вьюрков ложной крутки и одного вьюрка для ложной крутки с помощью пара. Здесь завершается процесс активации проклеивающего состава и проклеивание основных волокон. За счет этого достигается достаточная прочность ленты, чтобы дойти до сушильного барабана;
- 5) сушка на барабане и намотка. Чтобы слои пряжи не склеивались между собой, ее быстро высушивают на барабане при достаточно высокой температуре. Прочность и жесткость получаемой пряжи возрастает при увеличении концентрации и вида клеящего состава.

Институт TNO в г. Дельфте (Нидерланды) также внес вклад в изучение вьюрковых способов прядения. Здесь впервые разрабатывали бескруточный способ прядения льна [26, 27]. Суть его заключалась в том, что льняную ленту, специально обработанную и окрашенную, смачивали и пропускали через пропиточную ванну с клеящим составом без кручения. Затем ленту высушивали и направляли на переработку в ткань. Полученная ткань подвергалась обработке, вымыванию клеящего состава. После этого она была готова к продаже.

Существует еще один вариант реализации этого способа. Льняная лента после смачивания пропусклась через пропиточную ванну, в которой находился вьюрок ложного кручения. В этой ванне происходило ложное скручивание ленты в мокром состоянии. После этого полученная пряжа высушивалась и наматывалась на бобину.

В дальнейшем по способу TNO бескруточную льняную пряжу стали получать из специально подготовленной ровницы, прошедшей химическую обработку [29].

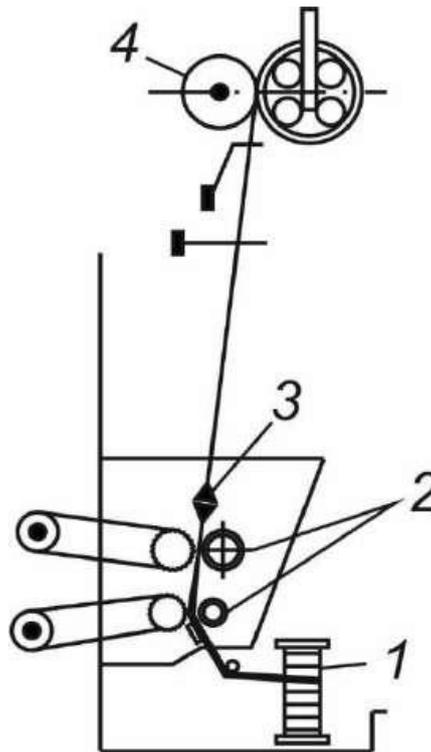


Рис. 3 Способ формирования бескруточной пряжи TNO

Суть метода заключается в том, что ровница, обработанная хлоритом натрия, сматывается с катушки 1 (рис. 3). Далее через направители подается в вытяжной прибор 2, где установлены форсунки для смачивания ровницы. Вытяжной прибор однозонный, не имеет направляющих элементов, разводка от 80 до 100 мм, величина прядильной вытяжки до 11. Затем мычка поступает в пневмовьюрок ложного кручения 3, а далее пряжа, не получившая крутку, наматывается на бобину крестовой намотки 4. Патроны для намотки пряжи металлические, перфорированные, высота патрона – 180 мм, диаметр патрона – 150 мм. Вес пряжи на готовой паковке до 1,2 кг. Плотность намотки пряжи на паковке – $0,22 \text{ г/см}^3$. Сушка пряжи осуществляется конвекционно при температуре $60 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5 ч. С помощью воды, подающейся периодически, происходила очистка вьюрка и выпускного валика от мелких волокон и грязи. На случай обрыва нити в машине предусмотрен датчик останова питания для прекращения подачи ровницы. В этот момент питающий и выпускной валики вытяжного прибора поднимаются.

Для устранения обрыва нити во вьюрок заправлялась цветная нить и внахлест подавалась на паковку с пряжей. В вытяжном приборе с помощью специального крючка цветная нить соединялась с ровницей. Затем включались валики вытяжного прибора. При таком способе устранения обрыва без соединения оборванных концов необходима перемотка бобин и связывание концов с удалением цветной нити.

Линейная плотность пряжи, вырабатываемой на данной машине, 68–25 текс. Относительная разрывная нагрузка 12–14 сН/текс. Пряжа обладает высокой ровнотой. Скорость выпуска при данном способе производства пряжи до 125 м/мин.

Также институт TNO занимался изучением вопроса создания высокопроизводительного оборудования для хлопка [27–30]. В этом случае в качестве связующего вещества использовали крахмал. Процесс получения пряжи таким образом представлен на рис. 4.

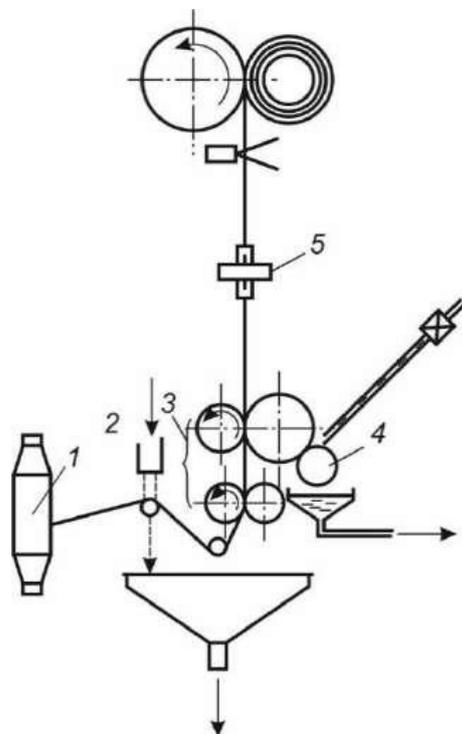


Рис. 4 Технологическая схема бескруточной прядильной машины для хлопка

Перед поступлением в вытяжной прибор ровница 1 из хлопкового волокна замачивается в воде 2 с целью дальнейшего использования

вытяжного прибора 3, применяемого при переработке льняной ровницы. Связующее добавляют с помощью валика 4. Он касается выпускного цилиндра вытяжного прибора. Затем для уплотнения и закрепления мычка поступает во вьюрок 5. После чего наматывается на бобину. Для ускорения процесса взаимодействия связующего с пряжей бобины подвергаются часовой обработке паром низкого давления при температуре 110 °С. Скорости выпуска могут достигать 250–300 м/мин.

Из-за склеивания слоев пряжи между собой после высыхания крахмала повысилась обрывность при ткачестве. Поэтому данный способ не нашел применения в промышленности Голландии.

После многочисленных усовершенствований существующего способа появилась новая система прядения Twilo [31], в основу которой были заложены труды профессора Х.И. Селлинга в институте TNO.

Для снижения затрат на высушивание пряжи клеящий состав может вводиться в виде водорастворимых или легкоплавких волокон. Чаще всего применяют волокна ПВА или ПВС. Наиболее распространенным способом, использующим связующее в виде волокон, является способ, разработанный в Нидерландах [32–35]. Пряжа получается из смеси обычных и связующих волокон. Между вытяжным прибором и приемным устройством устанавливается механизм ложного кручения фрикционного типа и термокамера. Пряжа, проходя через термокамеру, нагревается. При этом связующие волокна размягчаются и склеивают основные волокна. Температура размягчения связующих волокон (70...80) °С. Поскольку смачивание мычки не производится, то и сушка сформированной пряжи не требуется. Однако при этом необходимо нагревать мычку в термокамере, что требует соизмеримых затрат энергии. Но при этом теряется в качестве пряжи, которое обеспечивается вытягиванием продукта в мокром состоянии.

Очевидно поэтому фирма «TWILO» провела модернизацию машины [35], заключающуюся в установке устройства, обеспечивающего предварительное смачивание ленты. Это позволило: на 10% увеличить

разрывную нагрузку и удлинение пряжи, а также повысить скорость ее выпуска. На машине можно вырабатывать пряжу с линейной плотностью 29,4 текс при скорости выпуска 400 м/мин.

Способ фирмы «TWILO» неоднократно модифицировался. Изменения были направлены на поиск решений, позволяющих снизить затраты, связанные с сушкой продукта и при этом сохранить приемлемую прочность пряжи. Так в [36] приводятся сведения о разработке университете штата Техас машины, позволяющей получать пряжу из хлопковых волокон с добавлением волокон из растворимого в воде клея. Смешивание волокон может производиться как на стадии разрыхления, так и на ленточных машинах. Отличительной особенностью формирующего устройства является увлажнительное устройство, которое устанавливается в зоне вытягивания и обрабатывает смесь волокон паром, после чего мычка подвергается ложному кручению. Полученная таким образом пряжа подвергается сушке на нагреваемом барабане, для чего наматывается на него несколькими витками.

Некоторые модификации перечисленных клеевых способов формирования пряжи рассматриваются в обзорах [37–39].

Нидерландская фирма «Signal» изобрела машину, работающую по этому способу прядения (рис. 5).

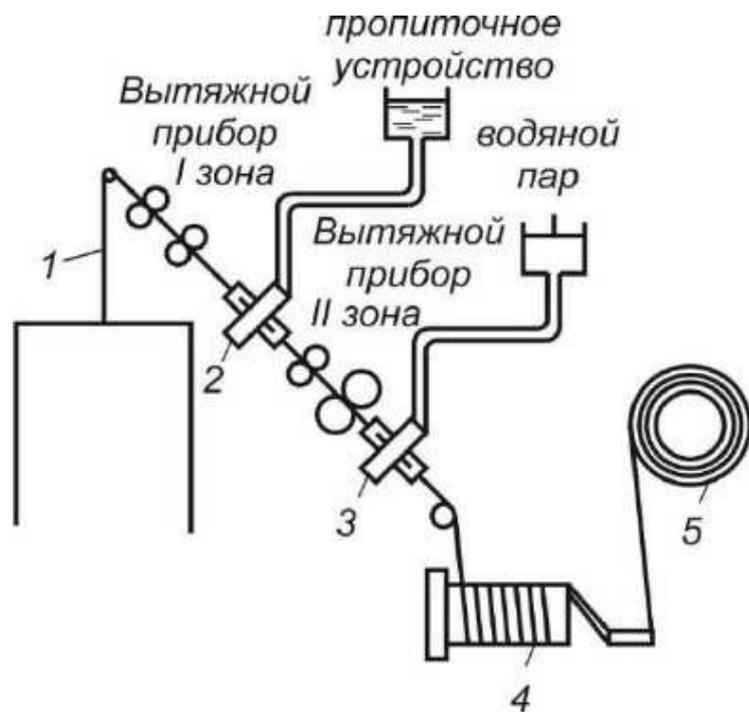


Рис. 5 Технологическая схема получения пряжи по способу Twilo.

В вытяжной прибор подается питающая лента 1, которая заранее при прохождении ленточных машин, была соединена со связующими волокнами. Затем, попадая на первую пару вытяжного прибора, лента подвергается сухому вытягиванию. После этого происходит увлажнение в фильере ложной крутки 2. Далее – вторая зона вытяжного прибора. Здесь происходит вытягивание ленты в мокром состоянии. Затем еще одна фильера ложной крутки 3, где производится обработка водяным паром. Далее пряжа упрочняется и подсушивается на обогреваемом прядильном диске 4. Завершается процесс намоткой высушенной пряжи в бобину 5. В качестве связующего элемента применяют ацеталированные поливинилспиртовые волокна в количестве до 8% от веса ленты. Скорость выпуска пряжи достигает 200–600 м/мин.

Линейная плотность вырабатываемой пряжи 15–100 текс. Машина применяется с целью переработки химических и хлопковых волокон.

Однако использование данной машины возможно при соблюдении ряда условий: требуется подвод воды к первой фильере ложного кручения; ко второй фильере необходим подвод водяного пара; в машине необходим

нагревательный элемент. Также возникает проблема удаления связующего при отделке ткани.

На рисунке 6 представлен еще один способ прядения, запатентованный немецкой фирмой «Toray». По этому способу добавление жидкого связующего происходит в фильере ложного кручения [40].

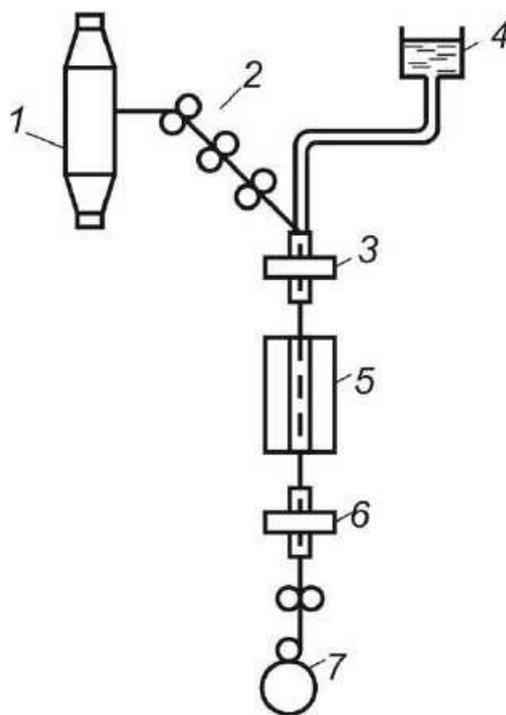


Рис. 6. Технологическая схема получения пряжи по способу Toray

После утонения в трехцилиндровом вытяжном приборе 2 ровница 1 поступает в фильеру ложного кручения 3. Туда же подается и связующее из пропиточного устройства 4. После термофиксации в обогреваемой камере 5, где происходит сушка, пряжа поступает в устройство ложной крутки 6 и наматывается на бобину 7. Данный способ ориентирован на прядение из полиэфирных волокон линейной плотностью 0,35 текс, длиной 60 мм. Проникновение связующего вещества происходит в обогреваемой камере при температуре 70 °С. Скорость выпуска до 250 м/мин, линейная плотность пряжи 25 текс. У пряжи круглое поперечное сечение. К недостаткам данного способа относятся большие колебания по разрывной нагрузке, а также

сложность удаления связующего вещества, обладающего достаточно высокой температурой плавления 150–170 °С.

В Японии в Gifu-University предложили бескруточный способ прядения шерстяной пряжи [41]. Аналогично рассмотренным выше способам прядения, упрочнение пряжи должно происходить за счет введения связующего вещества в волокнистую массу, получаемую после процесса вытягивания. Закрепление связующего достигалось конвекционной сушкой. При таком способе производства пряжи скорость выпуска достигала до 200 м/мин, а линейная плотность получаемой пряжи составляла 260 текс.

В США в Новом Орлеане представили систему бескруточного прядения SRRC, предназначенную для производства хлопковой пряжи с добавлением полиэфирного волокна. С целью утонения прочес, снимаемый со съемного барабана чесальной машины, поступал в утоняюще-разъединяющее устройство. Полученная в результате тонкая ленточка опускалась в пропиточную ванну с раствором. Затем происходил процесс ложного кручения ленточки. После чего она высушивалась и наматывалась в паковку. К недостаткам данного метода можно отнести достаточно низкую скорость выпуска 42 м/мин. А также по причине несовершенной конструкции сушильного устройства при увеличении скорости исключалась возможность полноценной просушки пряжи.

Таким образом, рассмотренные клеевые способы получения пряжи действительно помогают повысить производительность оборудования и труда. Все способы основаны на идее исключения из процесса прядения этапа кручения. Прочность пряжи обуславливается адгезией волокон и связующего. При производстве пряжи использовались клеевые составы с высоким процентным содержанием клея. Кроме того, клеевые способы основаны на применении экологически неблагоприятных клеевых растворов. Рассмотренные клеевые способы получения пряжи имеют как достоинства, так и недостатки. Положительные опыты с проклеиванием пряжи без действительной крутки дают основание для продолжения работ по

упрочнению пряжи этим способом с использованием новых экологически чистых клеящих веществ. Анализируя ошибки, совершенствуя существующее оборудование, можно разработать высокоэффективный, высокопроизводительный способ получения прочной бескруточной пряжи.

Представляется перспективным объединение способа PAVENA и вьюркового способа для получения льняной пряжи при соответствующей их модификации, т.е. формировать пряжу вьюрковым способом с последующей ее проклейкой для упрочнения [42].

Поскольку при вьюрковом способе прядения льна формирование мычки производится из ровницы, прошедшей химическую обработку в водном растворе и катушка с ровницей располагается в ванне с водой, представляется целесообразным заместить воду клеевым составом. Ровница при ее переработке в пряжу находится в ванне продолжительное время, что обеспечит качественную пропитку ее клеящим составом. В качестве клея необходимо выбрать состав, не снижающий экологические качества готовых изделий и который не требует последующего удаления из готовой ткани или трикотажа.

1.3 Методы экспериментального определения адгезии

При клеевых способах производства прочность получаемой пряжи достигается за счет проклеивания волокон связующим. Прочность готового продукта прядения обеспечивается за счет адгезии между волокном и связующим. Прочность этой связи зависит от нескольких факторов: когезионной прочности материалов, их способности образовывать поверхностное соединение, состава адгезива, условий образования адгезионного соединения и др. Для оценки способности волокна образовывать вместе с адгезивом достаточно прочный текстильный продукт встает вопрос о выборе единичного показателя, характеризующего прочность адгезионного соединения волокон, и выборе методики измерения этого показателя.

Адгезия имеет место в разнообразных процессах: при склеивании материалов, применении лакокрасочных покрытий, при соединении металлов с помощью припоя, в строительстве при использовании неорганических вяжущих веществ, при производстве бетона и др. Проблема оценки прочности адгезионной связи решалась в ряде технических приложений. Существует значительный экспериментальный материал по методике измерения адгезии полимерных материалов, металлов, стекла, дерева [43]. Анализ существующих методов, приведенный в [44], показал, что в качестве единичного показателя, характеризующего адгезию, в какой-то степени, могут служить прочностные показатели, такие как сопротивление раздиру и разрыву, предел прочности при изгибе или растяжении, сопротивление разрыву [45–50]. Методы определения этих показателей основаны на измерении приложенной внешней силы, под действием которой происходит разрыв адгезионных связей. В [43] предложена классификация методов испытаний по способу нарушения адгезионной связи: неравномерный отрыв, равномерный отрыв и сдвиг. Разрушающие методы разделяют на статические и динамические. В качестве единичного показателя, характеризующего адгезию может выступать сила или энергия разрушения адгезионной связи. При динамических методах прочность адгезионного соединения измеряют количеством циклов нагружения до разрушения. Также необходимо знать характер разрушения: адгезионный, когезионный или смешанный.

Достаточно широкое распространение получили методы неравномерного отрыва. К ним относятся расслаивание (разделение двух гибких материалов) и отслаивание (отделение гибкого материала от жесткого). Испытание, направленное на нарушение связи двух негибких материалов, называют раскалыванием или отдиrom [46]. Суть данных методов заключается в постепенном нарушении связи между адгезивом и субстратом за счет приложения усилия к краю соединения. Некоторые из методов стандартизованы. На рисунке 7 приведены различные схемы испытаний на неравномерный отрыв [47].

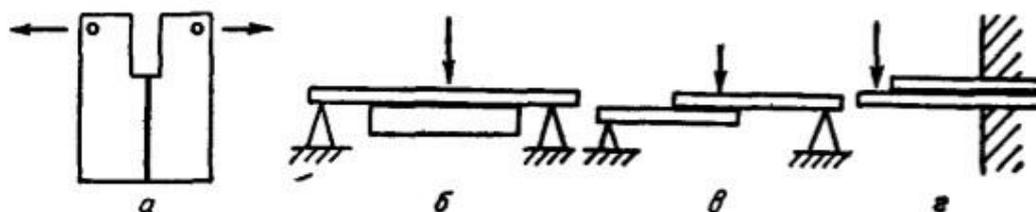


Рис.7 Схемы по отслаиванию жестких материалов: а) внецентренное растяжение для блочных материалов; б) изгиб для плиточного и листового материалов; в) изгиб для листового материала; г) консольный изгиб.

Метод отслаивания предполагает, что соединяемые элементы обладают достаточно большой жесткостью на изгиб, поэтому они не применимы для оценки адгезии между волокнами в текстильном материале.

Для оценки адгезии соединений элементов, один из которых гибкий применяют специфические методы измерения адгезии [48], в основе которых также лежит принцип постепенного отслаивания (рис. 8).

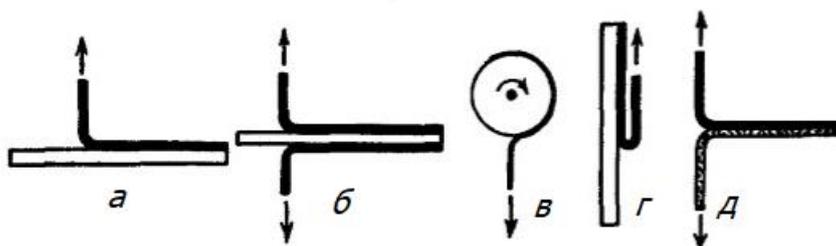


Рис.8 Схемы по отслаиванию гибких материалов от жесткой подложки под углом 90° (а, б, в) и 180° (г) и по расслаиванию гибких материалов (д).

Существуют и другие методы, основанные на принципе постепенного отслаивания адгезива от поверхности субстрата, например, метод измерения адгезии с помощью ножа-клина, но их практическое значение невелико. Для волокнистого продукта указанные методы также не подходят в силу того, что непонятно, что принять за субстрат, т.к. необходимо определять адгезию между пучками гибких элементов, причем положение границы и ее геометрия не вполне определены.

Другим большим классом методов измерения адгезии являются методы равномерного отрыва [49] при которых происходит одновременное

отделение адгезива от субстрата по всей площади контакта. В этом случае измеряют величину приложенного усилия, которое направлено перпендикулярно плоскости клеевого шва. Величина адгезии характеризуется силой, отнесенной к единице площади контакта. Некоторые из этих методов стандартизированы. Для измерения адгезии в основном используют образцы грибкового типа, между торцовыми поверхностями которых находится адгезив. На рис. 9 представлены некоторые виды образцов для таких испытаний.

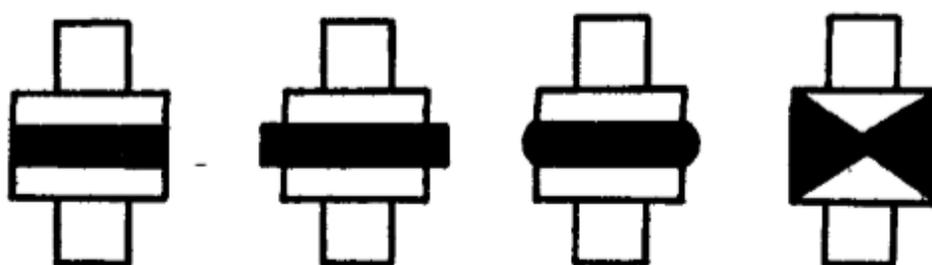


Рис. 9. Образцы для определения адгезии методом равномерного отрыва.

Под действием нагрузки в образцах типа грибков результирующее напряжение в слое адгезива неодинаково в различных местах площадки контакта. Также растягивающее усилие не всегда прикладывается точно по оси образца. Происходит процесс расслаивания. За счет увеличения длины цилиндрического образца и уменьшения площади склеивания можно добиться большей равномерности распределения напряжения, что приведет к снижению расслаивания при отрыве.

К методам равномерного отрыва относятся методы скрещенных нитей и метод петли [51], суть которых состоит в отрыве друг от друга приведенных в контакт двух нитей, покрытых адгезивом. Метод скрещенных нитей предполагает точечный контакт, нарушение которого происходит одновременно по всей площади путем равномерного отрыва. Данный метод достаточно эффективен, но на практике получить точечный контакт не удастся, а определить действительную площадь контакта невозможно.

Рассмотренные методы равномерного отрыва получили достаточно широкое применение, но для измерения прочности адгезионного соединения волокон не подходят в силу того, что приложить равномерное усилие в поперечном направлении по всей площади соприкосновения волокон практически невозможно.

Широко распространены методы измерения адгезии путем приложения усилий в тангенциальном направлении при этом в адгезиве возникают напряжения сдвига. Примером может служить метод, используемый для определения адгезии текстильного корда к связующему [52].

Метод сдвига под действием сжимающей нагрузки применяют в основном для клеевых соединений материалов большой толщины [55]. На рис. 10 показаны схемы проведения испытаний на сдвиг при сжатии (рис. 10а, б, в) и при растяжении (рис. 10г и 10д).

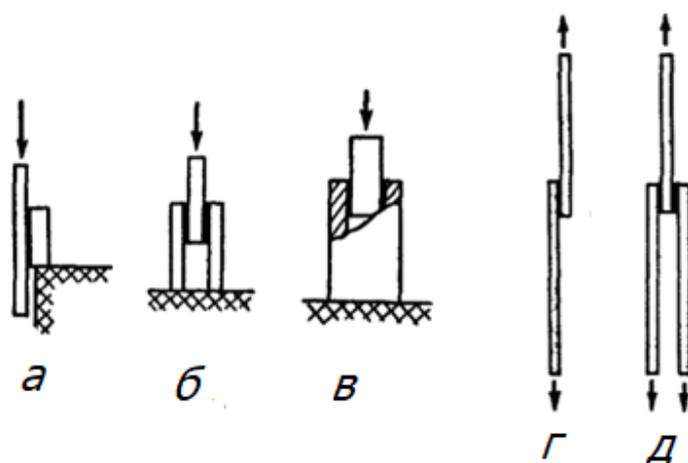


Рис. 10. Схемы испытаний клеевых соединений на сдвиг: а — одностороннее соединение плиточных материалов; б — двустороннее соединение плиточных материалов; в — соединение цилиндра со стержнем; г — шов односторонний внахлестку; д — двусторонний внахлестку;

Очевидно, что методы нагружения сжатием неприемлемы для волокнистых материалов ввиду их малой изгибной жесткости. Нагружение растягивающей силой позволяет проводить испытания на волокнах. При этом в качестве образца можно использовать отрезок некрученого волокнистого

продукта (например, бескруточной ровницы), содержащий определенное количество волокон.

Установлено, что при растяжении разрушающее напряжение линейно зависит от длины образца до некоторого предела и не зависит от его ширины [53, 54]. Таким образом, в качестве единичного показателя, характеризующего адгезию волокон к определенному связующему можно использовать отношение разрушающей нагрузки к суммарной длине скользящих волокон в растягиваемом продукте. Очевидно, что при испытаниях расстояние между зажимами должно быть приблизительно равным длине волокна l . Расположение волокон в зажимах разрывной машины показано на рис. 11 [56]. Эта схема построена в предположении, что все волокна в текстильном продукте имеют одну длину равную l и распределены по длине продукта равномерно. Очевидно, что скольжение волокон будет происходить в сторону зажима, в котором зажат кончик соответствующего волокна.

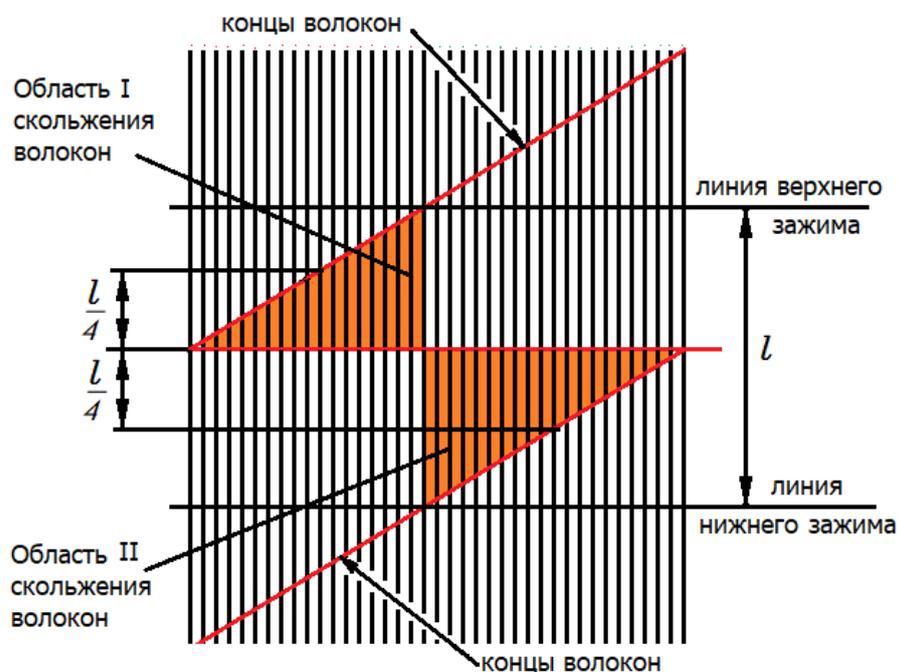


Рис. 11. Схема расположения волокон в зажимах при испытаниях пучка волокон на

сдвиг

В результате образуются две области скольжения волокон. Область I в которой волокна движутся со скоростью верхнего зажима и область II в которой волокна движутся со скоростью нижнего зажима. Средняя длина волокна в каждой из этих зон равна $l/4$, и силы адгезии, препятствующие движению волокон, направлены в противоположные стороны.

Рассмотренная схема с расположением волокон в плоскости не позволяет оценить, сколько волокон в действительности контактируют друг с другом через адгезив в текстильном продукте. В первом приближении этот вопрос решен в [57], где для расчета суммарной длины контактирующих волокон предложена формула

$$L = 3l \sum_{k=0}^N \left(\frac{\sqrt{d_p^2 - 3k^2 d_b^2}}{d_b} - 1 \right), \quad (1)$$

где d_e и d_p – диаметр волокна и ровницы, соответственно,

$N = d_p / 2d_e$ - количество условных слоев волокон в ровнице.

Как показано выше, длина скользящих волокон составит четвертую часть от значения, рассчитанного по формуле (1). Отнеся разрывную нагрузку к этой величине получим показатель, позволяющий количественно оценить адгезию связующего с волокном.

Таким образом, анализ существующих методов количественной оценки адгезии показал, что метод тангенциального приложения нагрузки при растяжении является наиболее приемлемым для определения адгезии волокон к связующему, используемому при выработке пряжи клеевым способом. При этом в качестве единичного показателя адгезии льняного волокна к связующему предлагается использовать отношение разрывной нагрузки образца бескруточной ровницы к суммарной длине скользящих при разрыве волокон.

1.4 Постановка задач

На основании анализа вопросов, связанных с получением вьюрковой и клеевой пряжи для проведения исследования были поставлены следующие задачи:

- разработка экспериментальной установки для изготовления клеевой пряжи;
- обоснование технологических параметров устройства для получения пряжи совмещенным вьюрковым и клеевым способом прядения;
- планирование экспериментов по изучению зависимости прочности пряжи от технологических параметров устройства формирования;
- наработка образцов льняной пряжи, полученной совмещением вьюркового и клеевого способов прядения,
- исследование характеристик полученного продукта прядения;
- исследование распределения волокон в сечении пряжи;
- разработка математической модели для прогнозирования прочности пряжи, полученной совмещенным способом;
- разработка имитационно-статистической модели для прогнозирования прочности продукта прядения.

Выводы по главе 1

1. Проведен анализ клеевых способов и оборудования для производства льняной пряжи клеевым способом. Применение клеевых способов получения пряжи способствует повышению производительности оборудования. Однако требуют сушки пряжи после формирования до намотки. Это приводит к увеличению энергозатрат. Использование синтетических клеевых составов требует интенсивных режимов расшлихтовки тканей, полученных из клеевой пряжи.

2. Установлено, что при производстве клеевой пряжи применяют растворы неблагоприятные в экологическом отношении, в связи с чем требуется их замена продуктом природного происхождения.

3. Пряжа, получаемая вьюрковым способом, имеет пониженную прочность, недостаточную для использования ее в ткачестве.

4. Анализ методов определения адгезии показал, что метод сдвига с растягивающей нагрузкой более полно соответствует характеру нагружения волокна в пряже или ровнице.

ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЯЖИ СОВМЕЩЕННЫМ ВЬЮРКОВЫМ И КЛЕЕВЫМ СПОСОБОМ

2.1 Выбор клеящих составов

Прочность клеевой пряжи обеспечивается за счет адгезии связующего к волокнам. Поэтому вид, концентрация и состав клеевых растворов, используемых для получения пряжи, имеют существенное значение.

По рассмотренному выше способу "Ravena" клеящий состав вводится в волокнистый продукт в виде раствора. Обычно используется 5% раствор ПВА, который вводят в количестве 10% от массы пряжи. В качестве склеивающего вещества в настоящее время применяют крахмал и поливиниловый спирт (ПВС).

Пряжу, полученную клеевыми способами, часто приравнивают по свойствам к ошлихтованной пряже и даже отмечают, что такая пряжа перед ткачеством в шлихтовании не нуждается. Однако следует отметить существенные отличия. Шлихта наносится на поверхность пряжи, в то время как связующее пропитывает всю структуру пряжи на полную глубину. В случае, если клеящий состав вводится в виде волокон, на поверхности пряжи не образуется полноценная пленка, предохраняющая пряжу от истирания в процессе ткачества. Поверхность пряжи имеет ворсистый вид, характерный для неошлихтованной пряжи. В любом случае ткань, полученная из пряжи, выработанной клеевым способом должна проходить обработку, аналогичную расшлихтовке, но с более жесткими режимами. Из-за того, что связующее проникает в пряжу на полную глубину «расшлихтовка» тканей из такой пряжи создает определенные проблемы. Она требует более интенсивных режимов, что в свою очередь приводит к дополнительным затратам энергии и воды.

Следует отметить, что все применяемые в настоящее время технологии расшлихтовки требуют значительного числа различных добавок или жестких

условий обработки, от чего возрастает риск разрушения самого волокна, увеличивается продолжительность технологического процесса за счет промывки, а также возрастает энергоемкость и трудоемкость.

Выходом из такого положения является выбор в качестве связующего веществ, содержащихся в текстильных материалах природного происхождения. Так в [57–61] для получения льняной ровницы клеевым способом предлагается использовать пектины, содержащиеся в льняном волокне. В этом случае нет необходимости их выведения из текстильных изделий. Использовать пектины льняного волокна для производства пряжи не представляется возможным в силу того, что создание достаточно прочной связи волокон с их помощью не удастся.

Предлагается в качестве связующего использовать серицин – природный клей, содержащийся в оболочке кокона тутового шелкопряда. Имеется опыт использования серицина, как основного элемента шлихты [62].

При образовании кокона серицин выполняет роль структурообразователя, создавая склейки между нитями фиброина, обеспечивая таким образом пористую волокнистую структуру кокона.

Цепи макромолекул серицина не упорядочены и не имеют волокнистого строения. Извлекают серицин вывариванием сырого шелка с водой, причем фиброин, образующий волокнистый сердечник коконной нити, не растворяется. В раствор переходит только серицин. Полученный таким образом водный раствор серицина при охлаждении застывает в виде студня. Чистый высушенный серицин представляет собой порошок без цвета и запаха, разбухающий в холодной воде и легко растворимый в горячей [63]. Содержание серицина составляет 20–30% массы коконной нити шелкопряда.

По своим физико-химическим свойствам серицин отвечает всем требованиям, предъявляемым к связующему, используемому для производства пряжи клеевым способом:

- способность к пленкообразованию;
- клеящие свойства;

- высокие адгезионные и когезионные свойства;
- токсикологическая и экологическая безопасность;
- возможность регулирования вязкости с помощью изменения концентрации;
- способность легко удаляться с поверхности текстильного материала при промывке.

Серицин – компонент шелка, поэтому отвечает высоким гигиеническим требованиям. С точки зрения воздействия на тело человека серицин обладает рядом положительных свойств, т.к. именно он в значительной степени формирует свойства натурального шелка – самого экологически чистого волокна. Поэтому удаление серицина из полученной пряжи не требуется. Это позволит снизить расходы на выработку тканей из пряжи, полученной по предлагаемой технологии.

Как показано в [62], прочная химическая связь, образующаяся между целлюлозным волокном и серицином в сочетании с рыхлостью его структуры, не препятствует диффузии и адсорбции красителя к волокну, обеспечивая тем самым прочность окраски.

2.2 Определение адгезии клеящих составов к целлюлозе

Возникает вопрос о силах адгезии серицина к целлюлозным материалам, являющимся основным компонентом растительных волокон (льна, хлопка и др.). Был проведен эксперимент, в процессе которого проводилось сравнение серицина с используемыми при выработке клеевой пряжи составами, таким как ПВА и ПВС. Прочность пряжи должна обеспечиваться в основном за счет прочности входящих в ее состав волокон. Количество клея в составе пряжи должно быть минимальным. Поэтому для проведения экспериментов принимались концентрации растворов, не превосходящие 10%.

Анализ способов измерения сил адгезии показал, что для оценки прочности волокнистых материалов наиболее приемлемым является способ испытания на сдвиг. При этом в качестве показателя для оценки степени

адгезии используется сила, отнесенная к площади клеевого соединения. При растаскивании пучка волокон оценить реальную площадь контакта волокон не представляется возможным. Поэтому для испытаний использовались образцы из березового шпона.

Образцы представляли собой полоски 10×150 мм. Два образца склеивались между собой на длине 50 мм. Таким образом, площадь соединения составляла 500 мм².

Для каждой концентрации клеевого раствора было изготовлено по 3 образца. После проклеивания образцы помещались под груз массой 3 кг и высушивались до кондиционной влажности. После высыхания образцы подвергались нагружению на сдвиг до разрушения на разрывной машине РМ-5.

На основе полученных экспериментальных данных построены графики зависимости сил адгезии от концентрации клея (рис. 12–14). Точка с координатами (0,0) берется как очевидная.

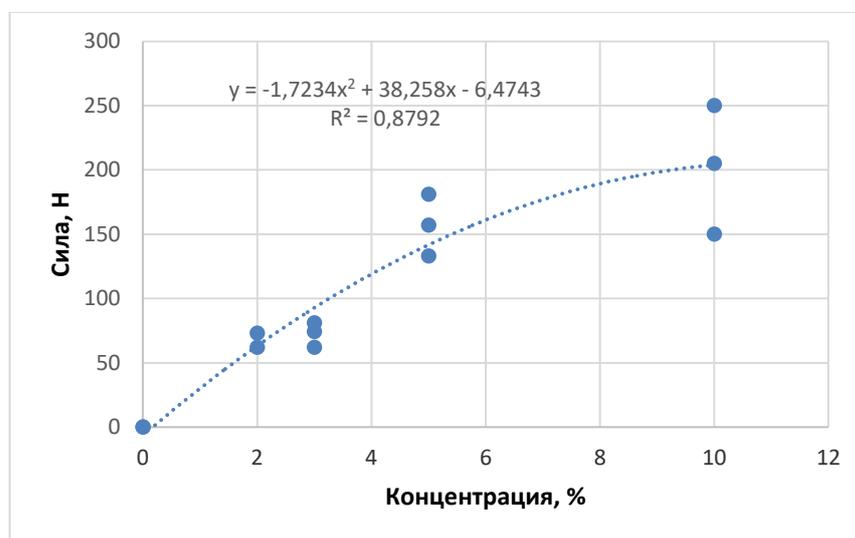


Рис.12 График зависимости сил адгезии от концентрации ПВА

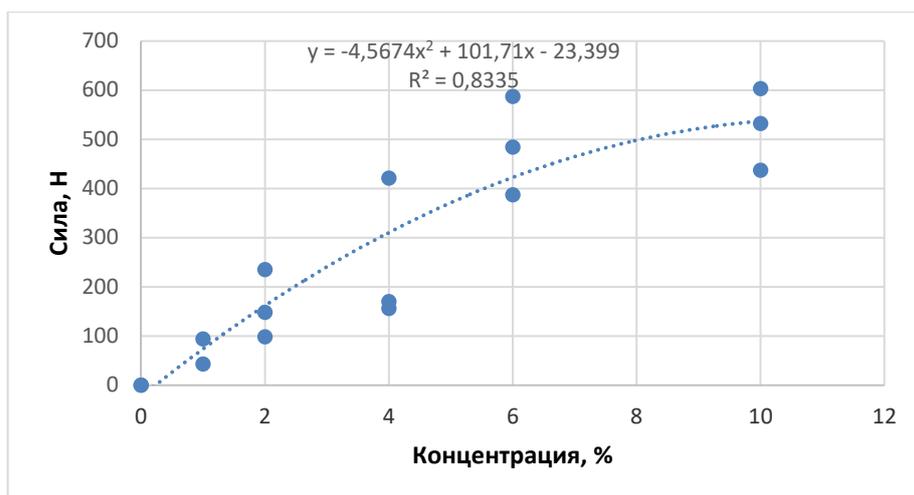


Рис.13 График зависимости сил адгезии от концентрации ПВС

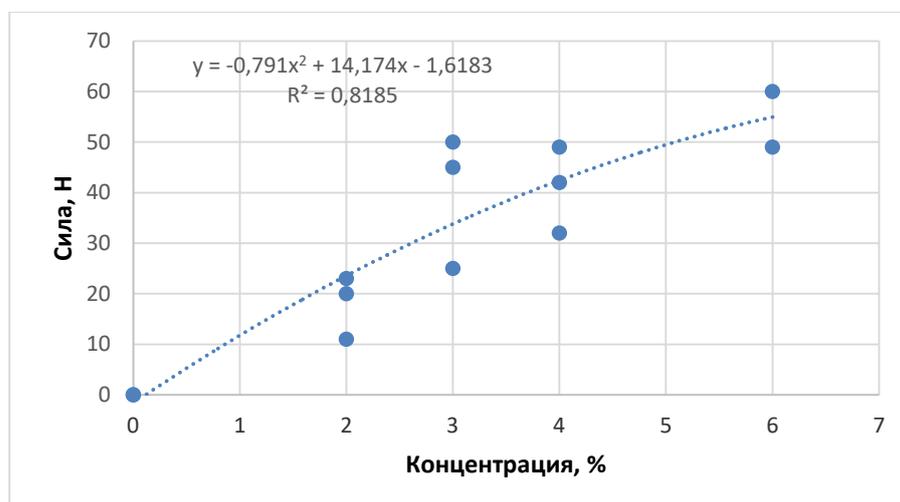


Рис.14 График зависимости сил адгезии от концентрации серицина

В поле графиков приведены результаты аппроксимации полученных экспериментальных данных кривыми второго порядка:

для ПВА

$$y = -1,7234x^2 + 38,258x - 6,4743, \quad (2)$$

для ПВС

$$y = -4,5674x^2 + 101,71x - 23,399, \quad (3)$$

для серицина

$$y = -0,791x^2 + 14,174x - 1,6183. \quad (4)$$

Коэффициент детерминации для всех трех моделей превышает 0,8, что говорит о тесной связи построенной модели и экспериментальных значений, т.е. модели достаточно точно описывают зависимость сил адгезии от концентрации клеящего состава.

Из графиков на рис. 12 – 14 видно, что с увеличением концентрации растворов, во всех случаях растет значение сил адгезии. Силы адгезии у ПВА почти в три, а у ПВС в восемь раз выше, чем у серицина. Однако при выборе клея для производства клеевой пряжи силы адгезии необходимо сопоставить с разрывной нагрузкой волокон. В таблице 1 приведены значения удельной силы адгезии при концентрации 6%. Выбор концентрации объясняется особенностями технологии получения серицина из отходов переработки коконов.

Таблица 1

Удельная сила адгезии при концентрации 6%

| Клеящий состав | Удельная сила адгезии, Н/мм ² |
|----------------|--|
| ПВА | 0,32 |
| ПВС | 0,86 |
| Серицин | 0,11 |

Рассчитаем силу адгезии, приходящуюся на одно элементарное волокно. Для этого на основе справочных данных [64, 65] определим площадь боковой поверхности волокна и умножим ее на удельную силу адгезии. При этом надо учесть, что при смещении двух волокон, связанных адгезивными связями, длина, на которой происходит смещение волокон, равна четверти длины волокна. Результаты расчетов при использовании в качестве клеевого состава серицина сведены в таблицу 2.

В последнем столбце таблицы 2 приведены значения разрывной нагрузки для соответствующих волокон [89, 90].

Расчет силы адгезии, приходящейся на одно волокно

| Вид волокна | Толщина (диаметр) элементарных волокон, мкм | Длина элементарного волокна, мм | Площадь поверхности и элементарного волокна, мм ² | Сила адгезии на одно волокно, сН | Относительная разрывная нагрузка элементарного волокна, сН/Текс | Разрывная нагрузка элементарного волокна, сН |
|-------------------------|---|---------------------------------|--|----------------------------------|---|--|
| Чесаное льняное волокно | 15 – 30 | 20 – 30 | 0,94 – 2,83 | 2,5-16,5 | 50 – 70 | 6,25 – 38 |
| Льняной очес | 15 – 35 | 15 – 25 | 0,71 – 2,75 | 1,95-7,5 | 30 – 50 | 3,75 – 27 |
| Хлопок | 15 – 25 | 29 – 40 | 1,37 – 3,14 | 3,75-8,5 | 20 – 30 | 3 – 4,4 |

Сравнение их со значениями сил адгезии показывает, что эти величины соизмеримы. Поэтому для получения пряжи клеевым способом можно рекомендовать серицин с концентрацией 6%. При использовании для этих целей ПВА и ПВС концентрацию раствора нужно снизить, чтобы удельная сила адгезии была порядка 0,1 – 0,15 Н/мм².

Выводы по главе 2

1. Предложено в качестве связующего при получении клеевой пряжи использовать природный клей серицин, благодаря экологичности которого возможно исключение процесса расшлихтовки.
2. Установлено, что благодаря химической связи, образующейся между целлюлозным волокном и серицином в сочетании с рыхлостью его структуры, он не препятствует диффузии и адсорбции красителя к волокну, обеспечивая тем самым прочность окраски.
3. Проведено экспериментальное исследование адгезии целлюлозы к таким клеевым составам, как ПВА, ПВС и серицину. Сравнительный анализ разрывной нагрузки волокна, полученного с использованием предложенных клеевых растворов, показал, что для производства льняной пряжи клеевым способом можно рекомендовать серицин 6% концентрации.

ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КЛЕЕВОЙ ПРЯЖИ

3.1 Описание экспериментальной установки

Для проведения экспериментального исследования по получению пряжи комбинированным способом в качестве прядильной машины был выбран модуль прядильный бескруточный марки МПБ-1 с двумя выпусками. В зависимости от производственной необходимости он может соединяться с аналогичными модулями в машину с десятью и более выпусками и работать индивидуально на каждой паре выпусков, что достаточно удобно при частой смене ассортимента пряж и выработке небольших партий пряжи.

Технологическая схема прядильной машины МПБ-1 показана на рис. 15. На этом же рисунке показан вид прядильного модуля.

Технические характеристики машины МПБ-1 представлены в таблице 3.

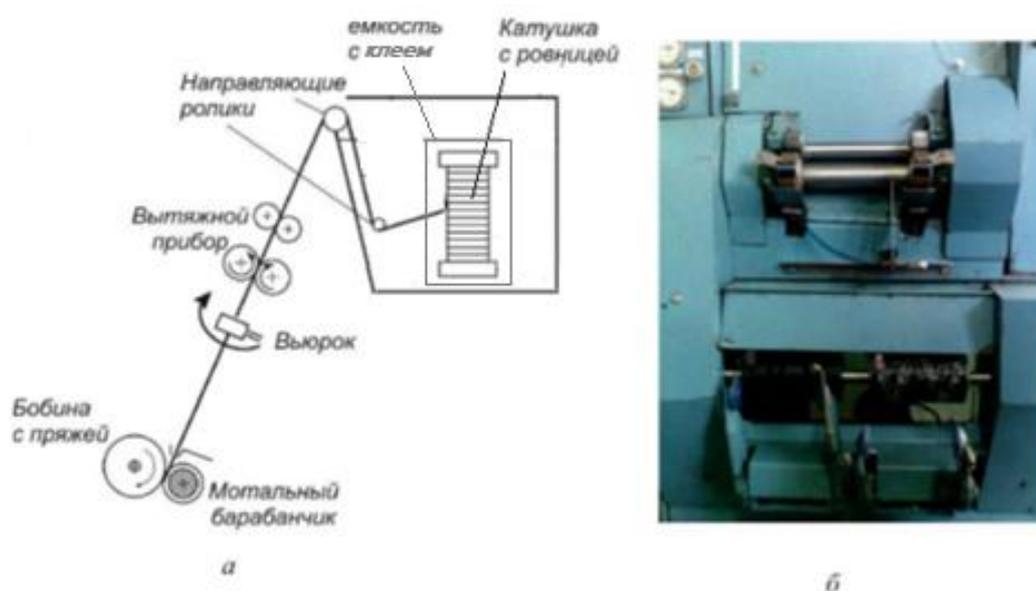


Рис. 15. Технологическая схема (а) и внешний вид (б) модуля прядильной бескруточной машины МПБ-1

Технические характеристики машины МПБ-1

| Параметры | Значение |
|--|------------------------------|
| Линейная плотность пряжи, текс | 24–110 |
| Линейная плотность ровницы, ктекс | 0,66–1,43 |
| Число рабочих сторон | 1 |
| Число прядильных мест | 2 |
| Расстояние между выпусками, мм | 200 |
| Питающее устройство | |
| Вид обработки ровницы | интенсивная химическая |
| Диаметр фланцев катушки, мм | 155 |
| Расстояние между фланцами катушки, мм | 305 |
| Вытяжной прибор | |
| Тип прибора | однозонный |
| Разводка, мм | 50–85 |
| Вытяжка | 10–25 |
| Нагрузка на вытяжную пару, кгс/см | 4–12 |
| Нагрузка на питающую пару, кгс/см | 2,5–8 |
| Диаметр тумбочки питающего цилиндра, мм | 56 |
| Диаметр тумбочки вытяжного цилиндра, мм | 66 |
| Питающий валик | Обрезиненный |
| Аэродинамическое крутильное устройство | |
| Диаметр центрального канала вьюрка, мм | 3 |
| Высота вьюрка, мм | 16 |
| Количество сопел | 4 |
| Диаметр сопел, мм | 0,8 |
| Давление воздуха, подаваемого во вьюрки, атм | 0–3 |
| Наматывающий механизм | |
| Тип намотки | цилиндрическая, крестовая |
| Диаметр патрона, мм | 100 |
| Высота намотки, мм | 90 |
| Высота патрона, мм | 100 |
| Плотность намотки, г/см ³ | 0,3–0,5 |

Ровничная катушка на машине МПБ-1 устанавливается непосредственно в корыте. Ровница огибает направляющие прутки и попадает в питающую пару вытяжного прибора. Движение ровницы обеспечивается тягой питающей пары. Пройдя вытяжной прибор, ровница утоняется и превращается в мычку. Между выпускной парой и намоткой расположена зона кручения, в которой располагается пневматический вьюрок. Пряжа, уплотненная ложной круткой, поступает в намотку.

Для реализации совмещенного способа формирования пряжи в прядильное корыто заливается клеящий состав. Клеящий состав проникает только в наружный слой намотки ровницы. Время сматывания слоя в зависимости от его диаметра составляет от 5 до 12 минут, что вполне достаточно для пропитки ровницы клеевым составом. Пропитанная ровница поступает в вытяжной прибор, а затем и во вьюрок. За счет интенсивного обдува мычки вихрем во вьюрке происходит удаление клеящего состава с поверхности мычки. Клеящий состав, находящийся между волокнами, за счет адгезионных связей обеспечивает дополнительное упрочнение сформированной пряжи. По мере высыхания клея упрочнение пряжи возрастает.

3.2 Отработка режимов формирования пряжи

Для проведения экспериментального исследования по получению пряжи комбинированным способом с целью проверки технологии упрочнения вьюрковой льняной пряжи в качестве исходного сырья была выбрана льняная ровница окислительной варки линейной плотности 600 Текс.

Были приготовлены клеевые растворы в малых концентрациях (не более 6%) по четыре образца для каждого вида клеящего вещества: растворы ПВА в концентрациях 1%, 3%, 5%, 6%, поливинилового спирта (ПВС) в концентрациях 1%, 1,5%, 2%, 3%, серицина в концентрациях 2%, 3%, 5%, 6% и крахмала в концентрациях 1%, 1,5%, 2%, 3%.

Предварительно в течение суток катушки с ровницей замачивались в клеевом растворе. Катушка для выработки контрольного варианта пряжи замачивалась в воде.

При проведении эксперимента на стенде МПБ-1 были установлены следующие параметры: давление во вьюрке 0,3 МПа, вытяжка 10, скорость наматывания 40 м/мин. Далее производилась наработка пряжи в количестве 500 г для каждого варианта.

Введение клеящего состава в ровницу приводит не только к изменению прочности пряжи, но и влияет на протекание процессов формирования пряжи. Так, установлено, что при концентрациях растворов ПВС и крахмала более 3% происходит налипание мычки на валик первой линии вытяжного прибора. Это ведет к повышенной обрывности. Процесс прядения становился невозможным. Поэтому эксперимент при концентрациях более 3% с этими клеящими составами не проводился. При использовании серицина и ПВА такое явление не наблюдалось. После выработки экспериментальных образцов паковки с пряжей высушивались естественным образом.

3.3 Анализ показателей качества

Одним из показателей качества пряжи является значение ее прочности при разрыве под воздействием разрушающей нагрузки. По физико-механическим параметрам льняную пряжу дифференцируют по группам качества, исходя из удельной разрывной нагрузки. Имеется опыт оценки качества пряжи с помощью функции градиента разрывной нагрузки и градиента неровноты по разрывной нагрузке [66, 72].

С целью исследования качественных характеристик полученных вариантов пряжи были проведены следующие замеры:

– линейной плотности и неровноты пряжи по линейной плотности согласно ГОСТ 6611.1-73 «Нити текстильные. Метод определения линейной плотности»,

– относительной разрывной нагрузки по ГОСТ 6611.2-73 «Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве»

– спектра неровноты и количества пороков на приборе КЛА-М.

В таблицах 4–7 приведены зависимости удельной разрывной нагрузки полученной вьюрковой пряжи из ровницы с пропиткой клеевыми растворами ПВА, ПВС, серицина и крахмала различной концентрации.

Таблица 4

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клеевого раствора ПВА

| | Концентрация ПВА, % | | | |
|---|---------------------|------|-------|-------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 |
| Линейная плотность, текс | 64,2 | 64,5 | 65,1 | 65,5 |
| Коэффициент вариации по линейной плотности, % | 4,5 | 5,1 | 4,9 | 4,7 |
| Удельная разрывная нагрузка, сН/текс | 12,3 | 14,1 | 14,9 | 15,9 |
| Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, % | 22,9 | 20,5 | 19,61 | 18,73 |

Таблица 5

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клеевого раствора ПВС

| | Концентрация ПВС, % | | | |
|---|---------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 1,5 | 2 | 3 |
| Линейная плотность, текс | 65 | 65,4 | 66 | 67 |
| Коэффициент вариации по линейной плотности % | 5,3 | 5,8 | 6 | 5,4 |
| Удельная разрывная нагрузка, сН/текс | 11,9 | 12,3 | 13,41 | 14,3 |
| Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, % | 23,39 | 22,63 | 20,44 | 19,16 |

Таблица 6

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клеевого раствора серицина

| | Концентрация серицина, % | | | |
|---|--------------------------|-------|------|-------|
| | 2 | 3 | 5 | 6 |
| Линейная плотность, текс | 64,5 | 64,8 | 65,6 | 66 |
| Коэффициент вариации по линейной плотности, % | 6 | 5,5 | 5,4 | 5,1 |
| Удельная разрывная нагрузка, сН/текс | 13,05 | 14,1 | 14,5 | 15,4 |
| Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, % | 21,57 | 20,76 | 19,1 | 18,33 |

Таблица 7

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клеевого раствора крахмала

| | Концентрация крахмала, % | | | |
|---|--------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 1,5 | 2 | 3 |
| Линейная плотность, текс | 64,6 | 65 | 66 | 67 |
| Коэффициент вариации по линейной плотности, % | 5,3 | 5,5 | 6 | 5,8 |
| Удельная разрывная нагрузка, сН/текс | 12,03 | 12,7 | 13,1 | 14,03 |
| Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, % | 24,29 | 23,03 | 22,10 | 21,63 |

Из приведенных данных видно, что с ростом концентрации клеевых растворов несколько возрастает линейная плотность пряжи. Это обусловлено тем, что некоторое количество клея после выработки и высушивания пряжи остается в ее составе. Вследствие того, что линейная плотность для разных вариантов отличается, сравнивать их по абсолютной разрывной нагрузке некорректно. Сравнение проводилось по удельной разрывной нагрузке.

Согласно этим данным пропитка любым из примененных клеевых растворов приводит к увеличению удельной разрывной нагрузки.

В таблице 8 проведено сравнение прочностных характеристик контрольного варианта пряжи (замачивание в воде без клеящего состава) с соответствующими показателями льняной кольцевой пряжи мокрого прядения группы ОЛ первого сорта по ГОСТ 10078–85.

Таблица 8

Удельная разрывная нагрузка контрольных вариантов пряжи

| | Контрольный вариант (без пропитки ровницы) | Кольцевая пряжа ОЛ по ГОСТ 10078-85 |
|--|---|--|
| Линейная плотность, текс | 64 | 64 - 200 |
| Коэффициент вариации по линейной плотности, % | 5,3 | 6,2 |
| Удельная разрывная нагрузка, сН/текс | 11,59 | 14,8 ± 0,8 |
| Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, % | 19 | 19 |

Из таблицы 8 видно, что контрольный образец пряжи имеет показатели физико-механических свойств ниже требований стандарта. Так удельная разрывная нагрузка контрольного образца значительно ниже соответствующего показателя для кольцевой пряжи мокрого прядения группы ОЛ первого сорта.

Сравнение данных таблицы 8 с данными полученными для экспериментальных образцов (таблицы 4–7) показали, что пропитка ровницы клеевым раствором приводит к увеличению прочности готовой пряжи.

При пропитке ровницы растворами ПВА и серицина в концентрации 3% удельная разрывная нагрузка достигает указанных значений для кольцевой пряжи. При увеличении концентрации клея до 6% при использовании в качестве связующего раствора ПВА прочность готового продукта повышается примерно на 35%, и примерно на 29% при использовании раствора серицина, что сравнимо с показателями кольцевой пряжи мокрого прядения группы СрЛ первого сорта.

Пряжа, полученная с использованием пропитки раствора ПВА, получилась достаточно жесткой. Этот фактор может повлиять на процесс

переработки пряжи в ткачестве и вязании, а также снизить качество готовой продукции.

Применение в качестве пропитки ровницы растворов ПВС и крахмала также привело к увеличению прочности наработанной пряжи. При использовании 3%-ных растворов показатель удельной разрывной нагрузки сравним с соответствующим показателем кольцевой пряжи мокрого прядения первого сорта группы ОЛ. Таким образом, применение клеевых растворов ПВС и крахмала позволило повысить прочность пряжи примерно на 22%.

На основе экспериментальных данных были построены графики зависимостей удельной разрывной нагрузки от концентрации клеящего раствора, используемого для получения пряжи, и получены однофакторные регрессионные модели, представленные на рис. 16–19.

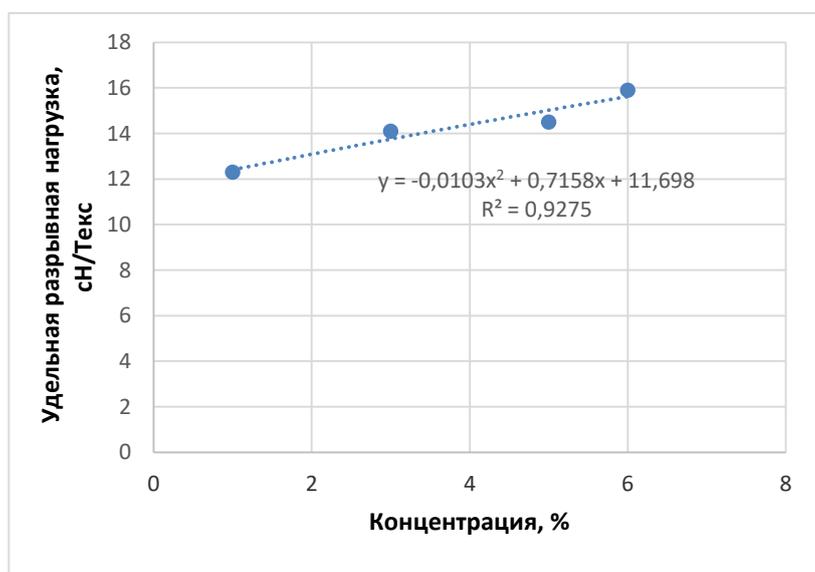


Рис.16 График зависимости удельной разрывной нагрузки волокна от концентрации ПВА

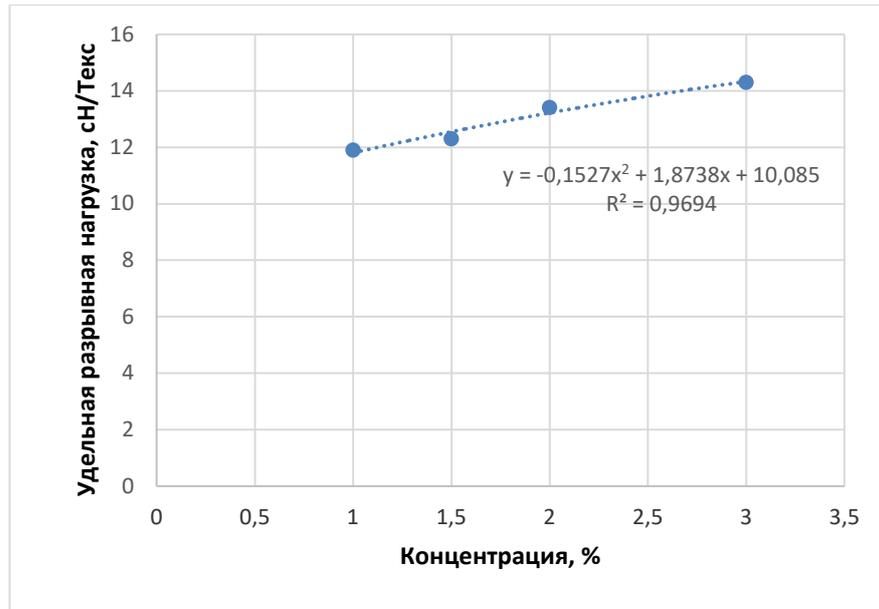


Рис.17 График зависимости разрывной нагрузки волокна от концентрации ПВС

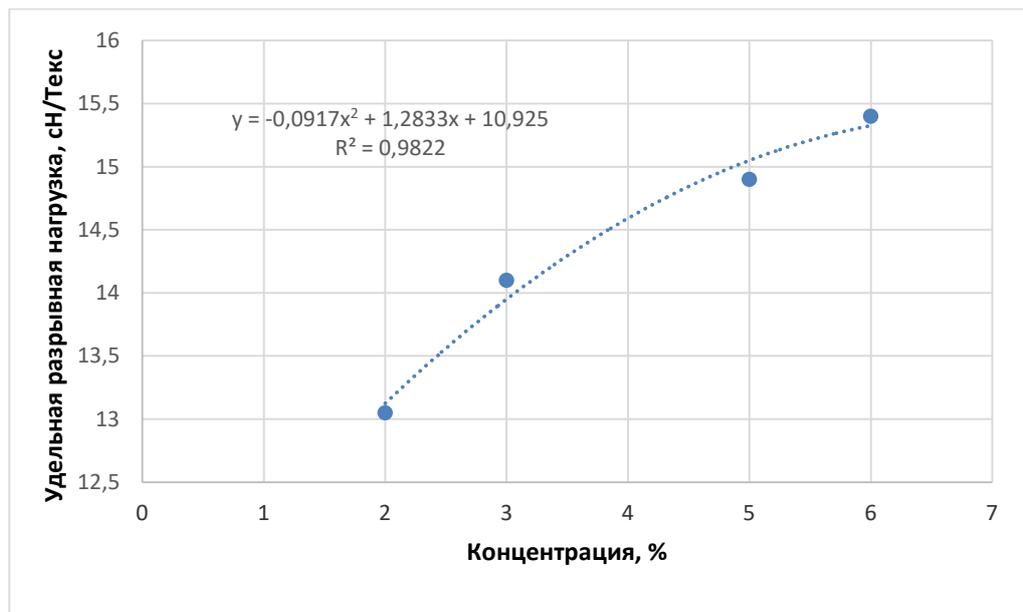


Рис.18 График зависимости разрывной нагрузки волокна от концентрации серицина

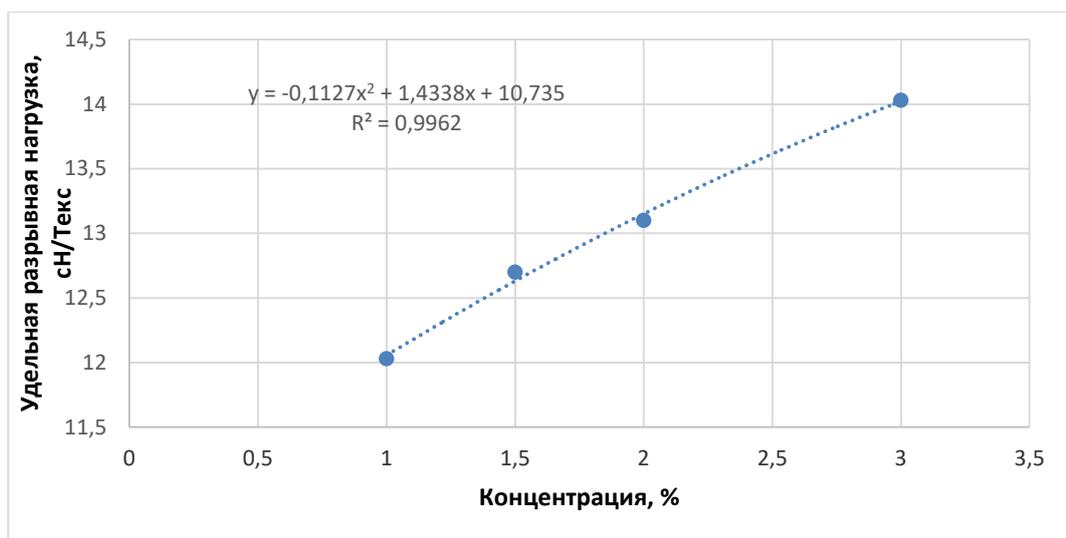


Рис.19 График зависимости разрывной нагрузки волокна от концентрации крахмала

В поле графиков приведены результаты аппроксимации полученных экспериментальных данных кривыми второго порядка:

для ПВА

$$y = -0,0103x^2 + 0,7158x + 11,698, \quad (5)$$

для ПВС

$$y = -0,1527x^2 + 1,8738x + 10,085, \quad (6)$$

для серицина

$$y = -0,0917x^2 + 1,2833x + 10,925, \quad (7)$$

для крахмала

$$y = -0,1127x^2 + 1,4338x + 10,735. \quad (8)$$

Коэффициент детерминации для всех моделей превышает 0,8, т.е. модели достаточно точно описывают зависимость разрывной нагрузки льняного волокна от концентрации клеящего состава. Из графиков также можно говорить о росте значения разрывной нагрузки волокна при увеличении концентрации клеевого раствора [67, 68].

Стоит отметить, что при использовании в качестве связующего растворов ПВС и крахмала, полученная пряжа отличалась многочисленными внешними пороками: шишковатостью, заметными отрезками утолщения и

утонения. При применении серицина наработанная пряжа получилась более ровной и гладкой.

С целью изучения характеристик неровности полученной пряжи были проведены исследования на автоматизированном лабораторном комплексе КЛА-М [69]. Было обследовано по 4 отреза длиной 6 м всех образцов наработанной пряжи с учетом концентрации и вида клеевого раствора, используемого для пропитки ровницы. На основе полученных данных были изучены характеристики неровности по линейной плотности, построены спектрограммы наработанной пряжи (Приложение 1). Результаты анализа данных представлены в [70].

На рисунках 20–35 приведены усредненные спектрограммы полученных образцов пряжи.

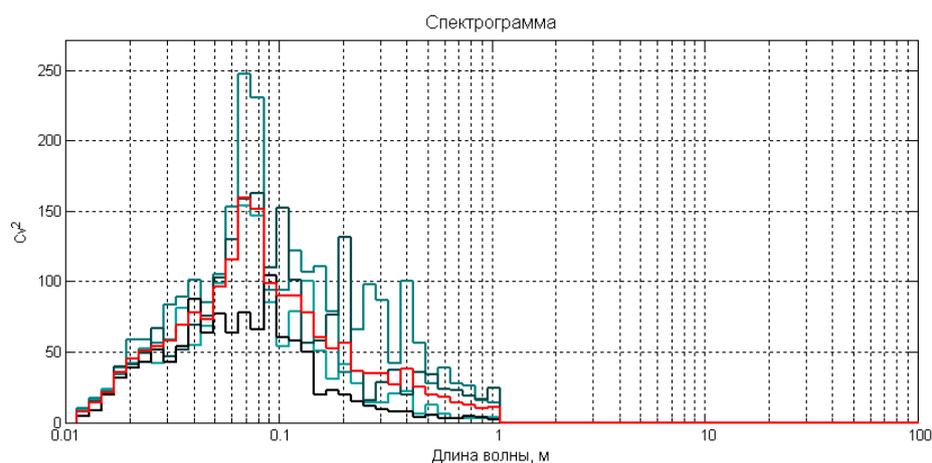


Рис.20 Спектрограммы образцов с пропиткой 6% раствором ПВА

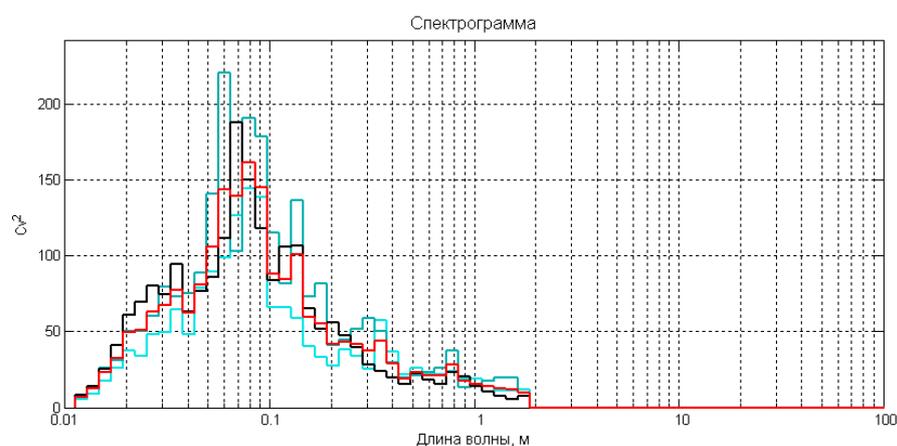


Рис.21 Спектрограммы образцов с пропиткой 5% раствором ПВА

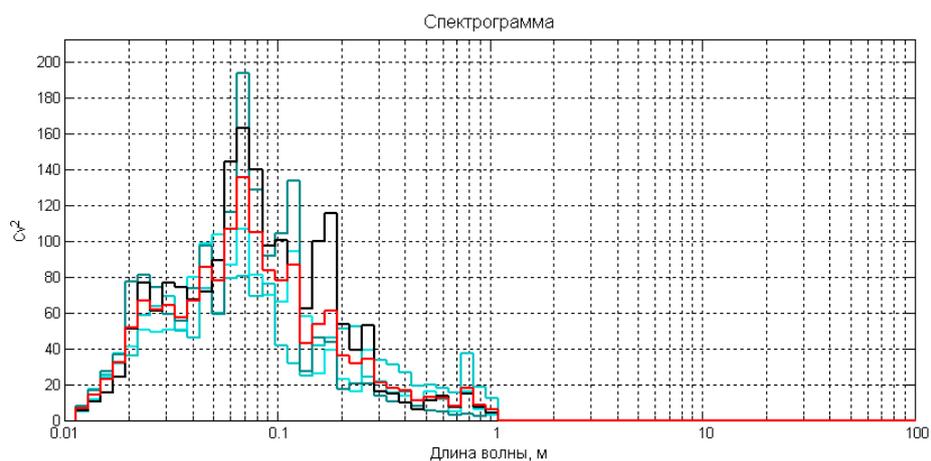


Рис.22 Спектрограммы образцов с пропиткой 3% раствором ПВА

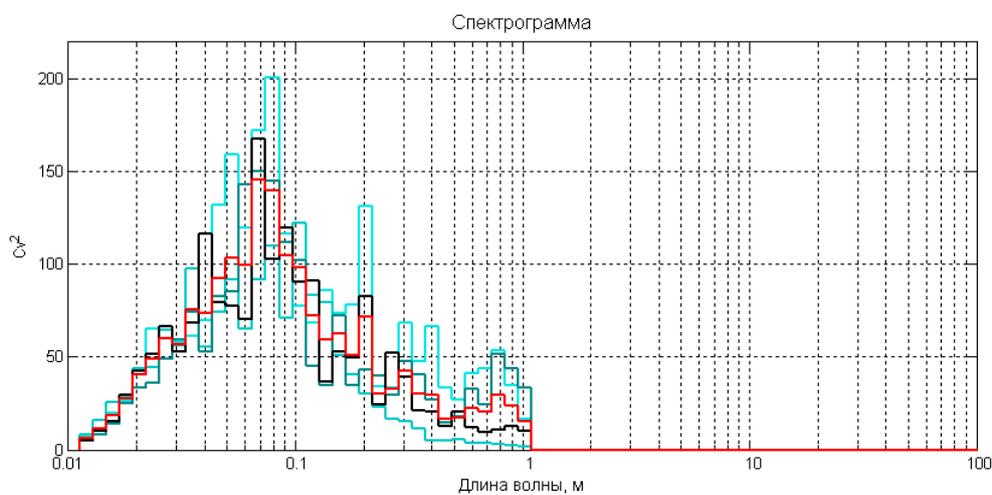


Рис.23 Спектрограммы образцов с пропиткой 1% раствором ПВА

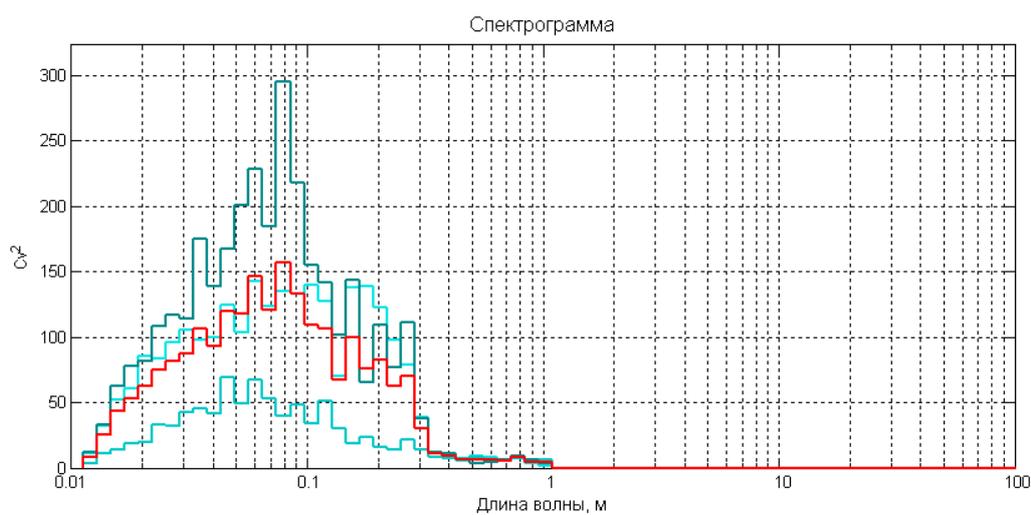


Рис.24 Спектрограммы образцов с пропиткой 6% раствором серицина

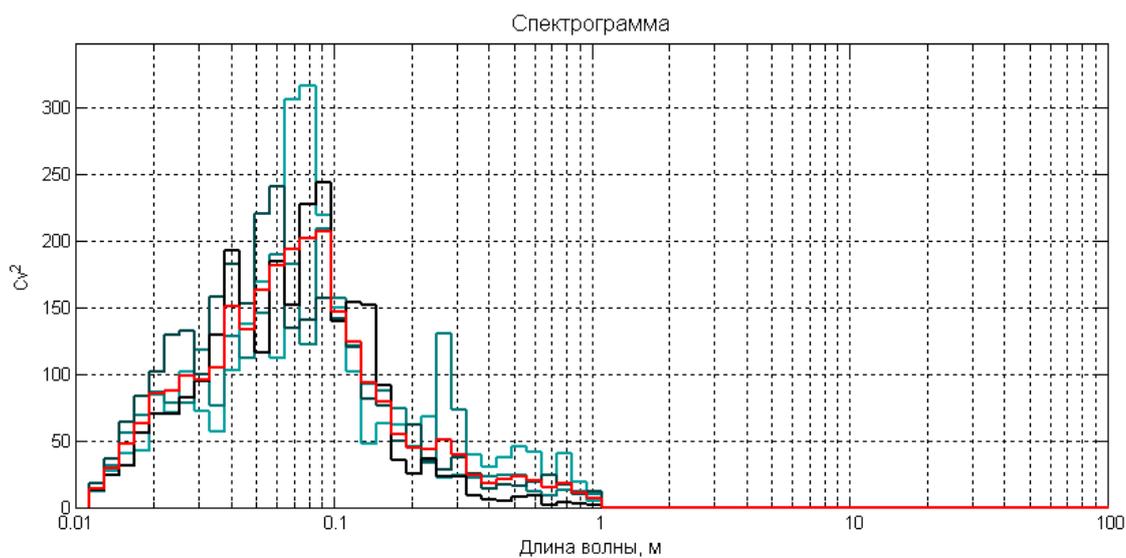


Рис.25 Спектрограммы образцов с пропиткой 5% раствором серицина

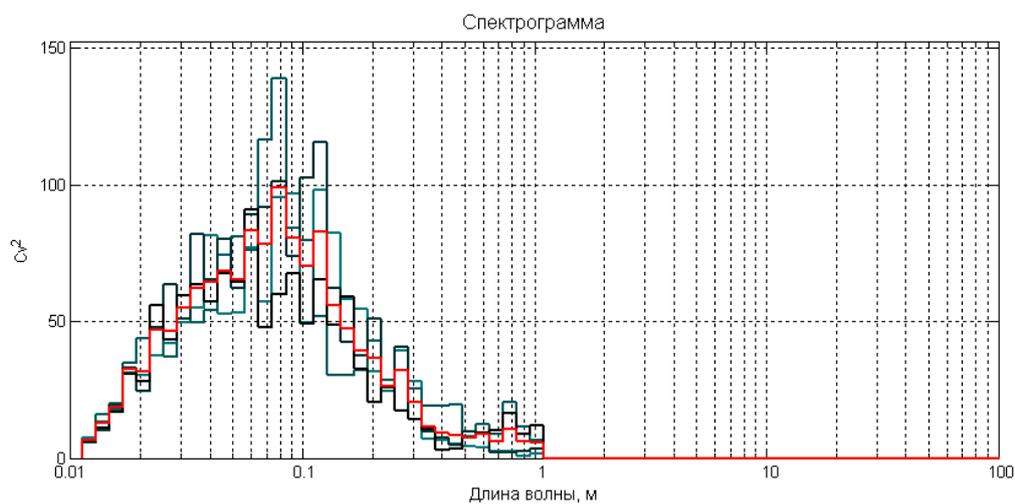


Рис.26 Спектрограммы образцов с пропиткой 3% раствором серицина

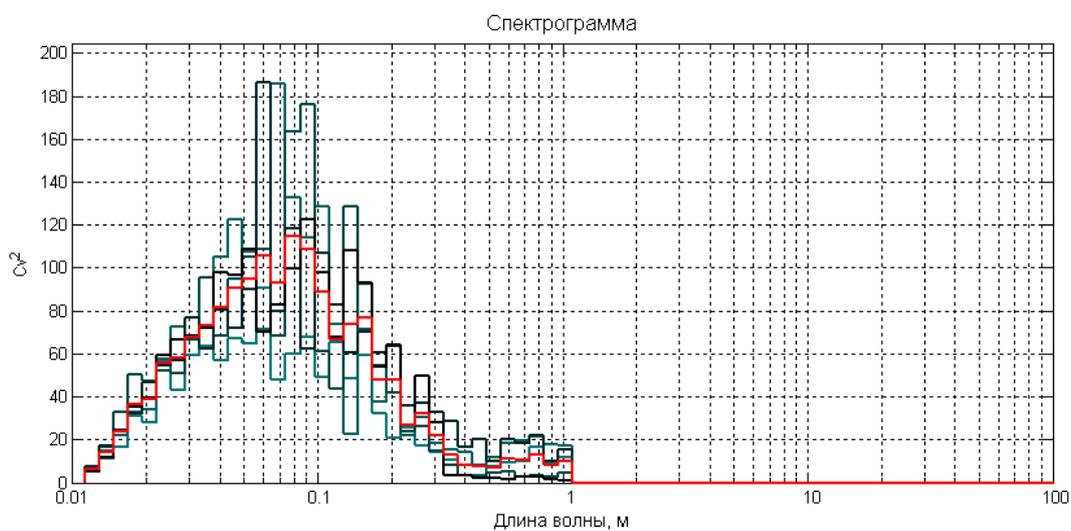


Рис.27 Спектрограммы образцов с пропиткой 2% раствором серицина

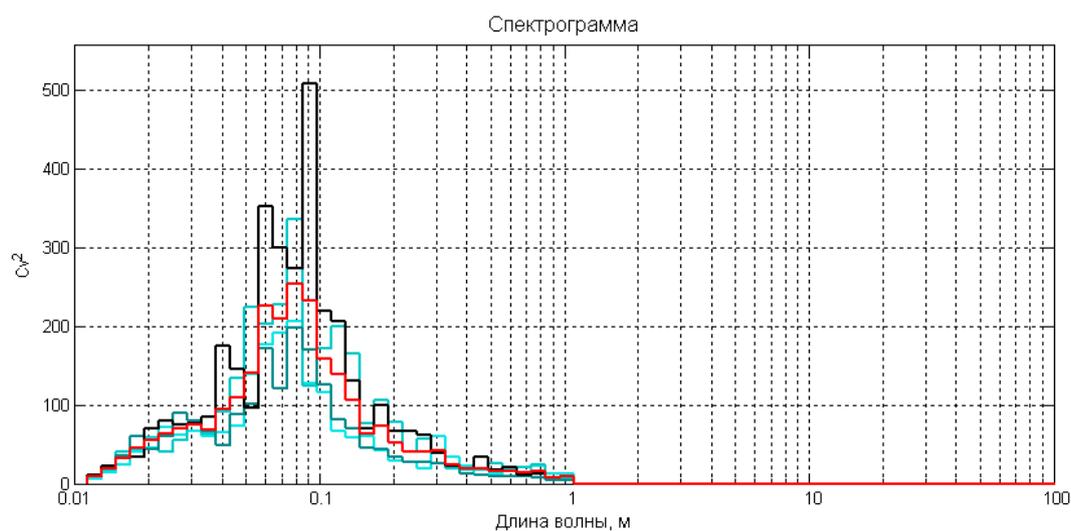


Рис.28 Спектрограммы образцов с пропиткой 3% раствором ПВС

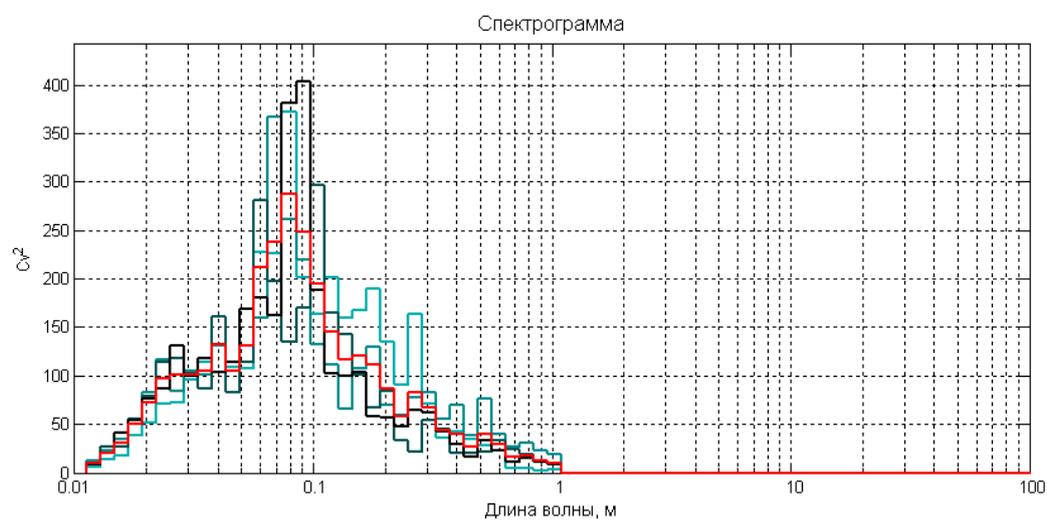


Рис.29 Спектрограммы образцов с пропиткой 2% раствором ПВС

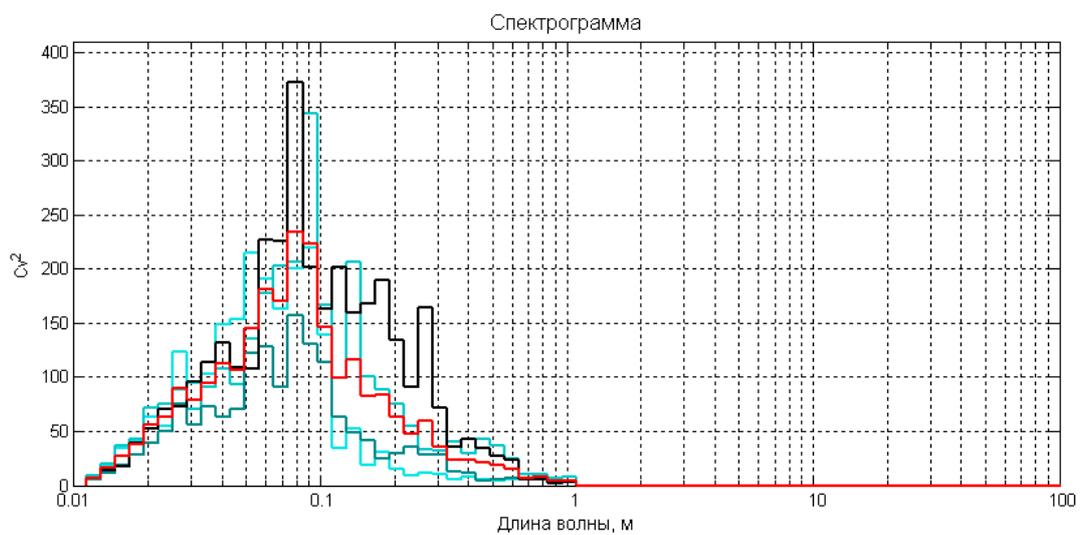


Рис.30 Спектрограммы образцов с пропиткой 1,5% раствором ПВС

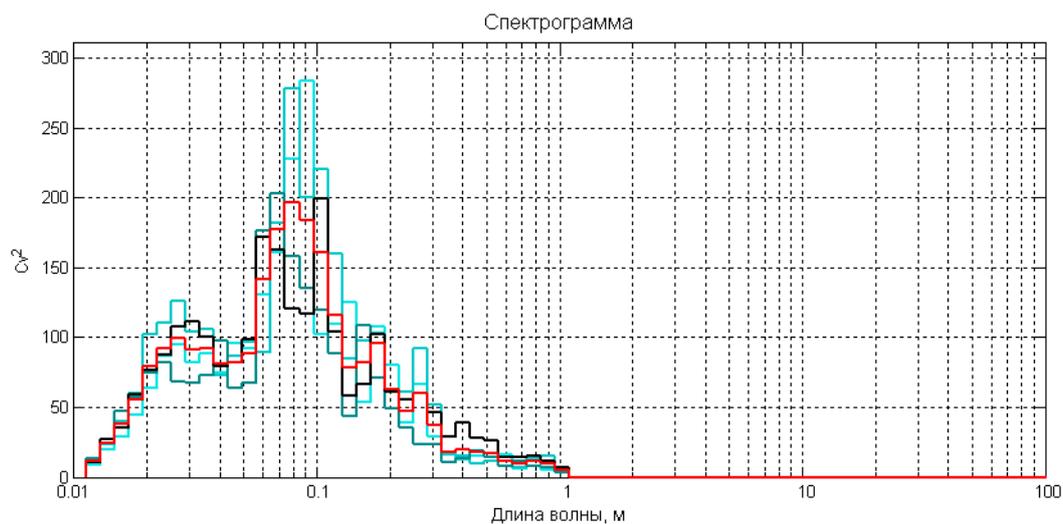


Рис.31 Спектрограммы образцов с пропиткой 1% раствором ПВС

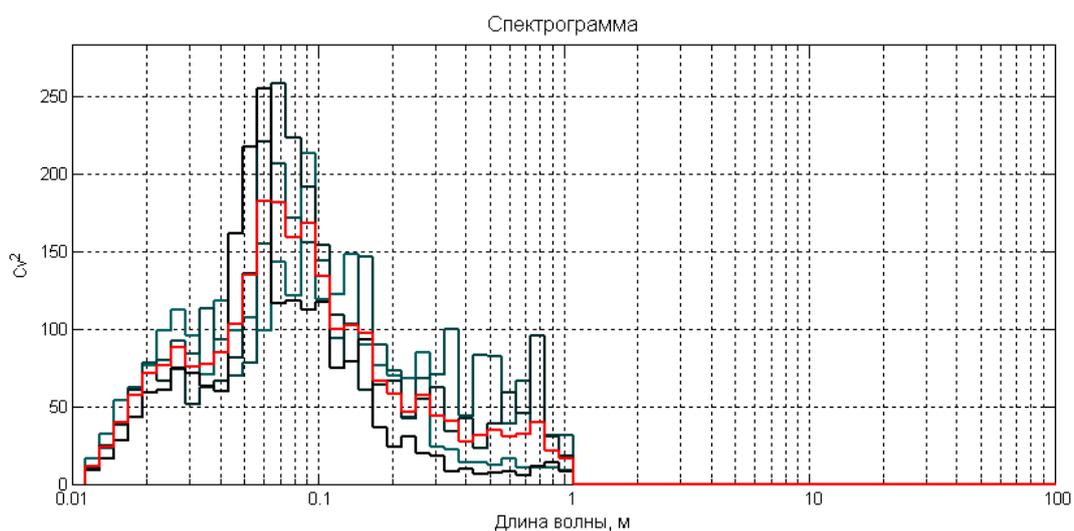


Рис.32 Спектрограммы образцов с пропиткой 3% раствором крахмала

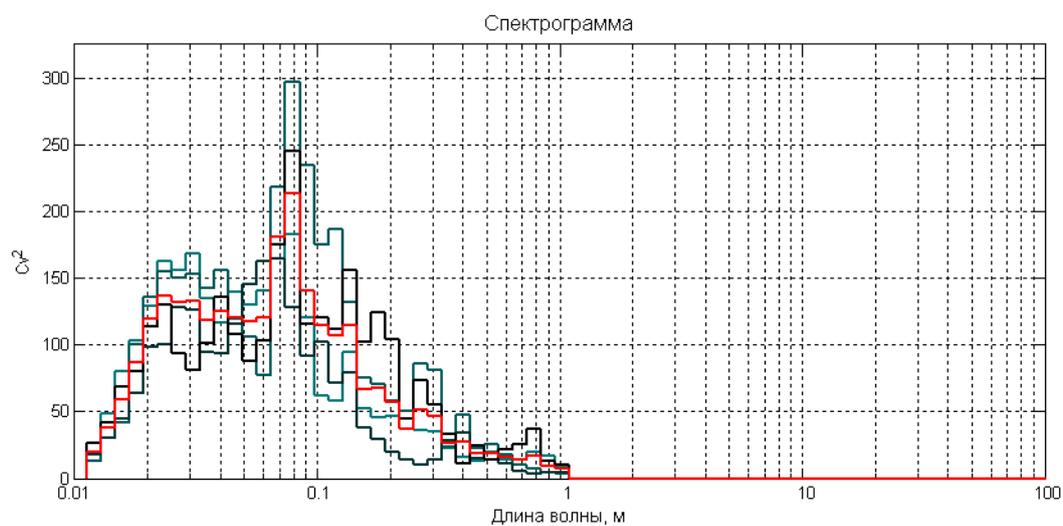


Рис.33 Спектрограммы образцов с пропиткой 2% раствором крахмала

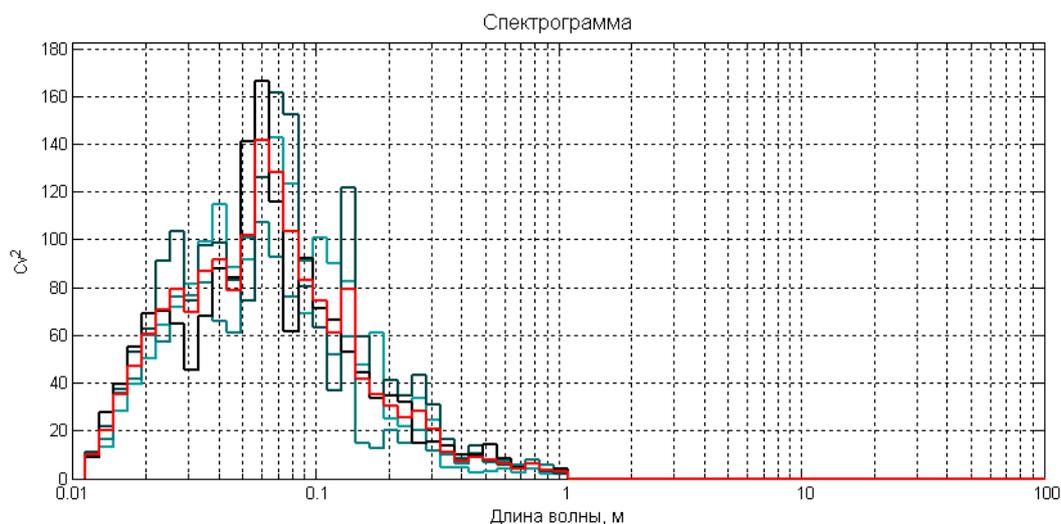


Рис.34 Спектрограммы образцов с пропиткой 1,5% раствором крахмала

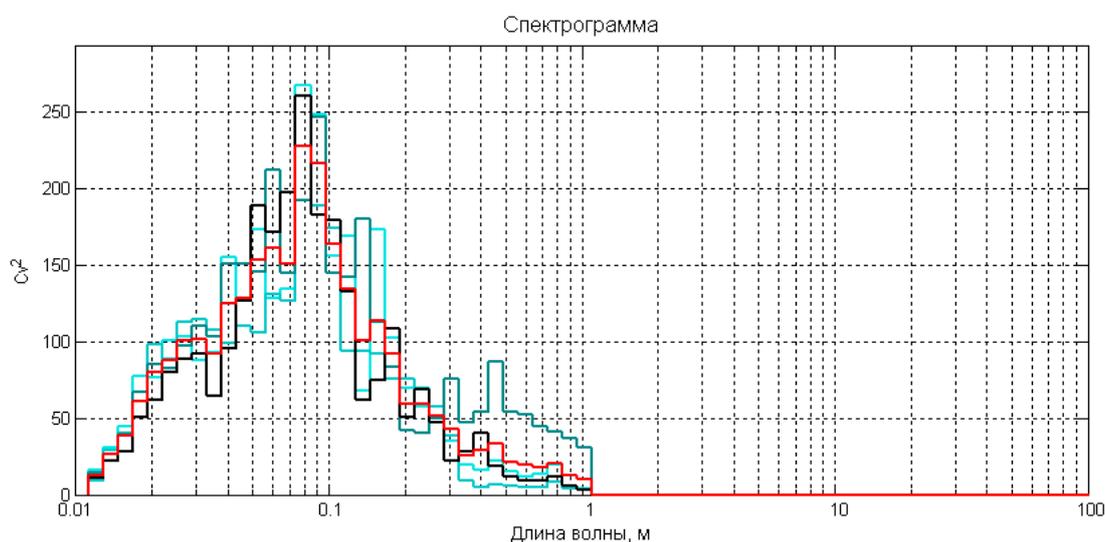


Рис.35 Спектрограммы образцов с пропиткой 1% раствором крахмала

На рисунке 36 представлена спектрограмма неровноты контрольного образца. Она имеет классический вид. Смещение пиков левее середины спектра связано с тем, что на лабораторном стенде отсутствует выпускная пара и в зоне намотки происходит вытяжка с периодичностью связанной с ходом нитеводителя.

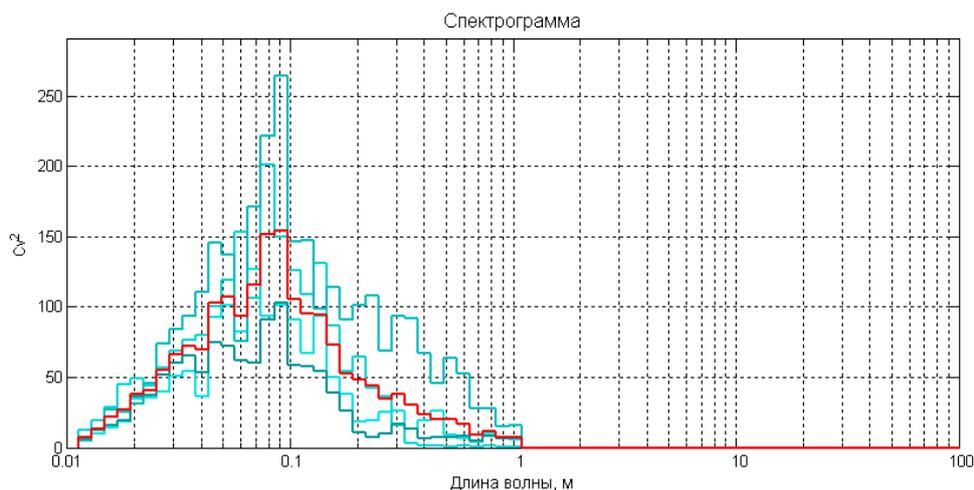


Рис.36 Спектрограмма контрольного образца

По полученным средним характеристикам спектрограмм была составлена сводная таблица 9.

Таблица 9

Характеристики спектрограмм

| | Коэффициент вариации CV, % | Общая дисперсия, CV ² | Дисперсия 12...400 мм |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Контрольный образец | | | |
| | 36,18 | 1309,2 | 1226,48 |
| ПВА | | | |
| 6% | 35,49 | 1259,63 | 1159,15 |
| 5% | 37,56 | 1410,8 | 1254,51 |
| 3% | 33,37 | 1113,58 | 1046,56 |
| 1% | 35,75 | 1277,88 | 1155,69 |
| Серицин | | | |
| 6% | 39,35 | 1548,36 | 1508,75 |
| 5% | 43,34 | 1878 | 1782,62 |
| 3% | 30,59 | 935,89 | 890,48 |
| 2% | 33,90 | 1149,23 | 1092,27 |
| ПВС | | | |
| 3% | 46,64 | 2175,45 | 2038,73 |
| 2% | 41,95 | 1759,9 | 1673,36 |
| 1,5% | 41,43 | 1716,54 | 1645,08 |
| 1% | 40,79 | 1663,77 | 1583,35 |
| Крахмал | | | |
| 3% | 41,95 | 1759,89 | 1584,46 |
| 2% | 43,07 | 1855,33 | 1757,64 |
| 1,5% | 33,98 | 1154,93 | 1115,5 |
| 1% | 43,86 | 1923,87 | 1805,81 |

Характеристики спектрограмм (коэффициент вариации, общая дисперсия, дисперсия 12-400 мм) выше у образцов льняной пряжи, полученной с применением пропитки растворами ПВС и крахмала. Это свидетельствует о большей неровноте готового продукта. Показатели качества, полученные на КЛМ-М, лучше у пряжи, выработанной с применением растворов ПВА и серицина.

Также все образцы наработанной пряжи были исследованы на наличие пороков. Полученные данные сведены в таблицу 10.

Таблица 10

Среднее количество пороков в экспериментальных образцах пряжи

| Концентрация клея, %ц | Среднее количество пороков (на 1000 м) |
|--------------------------|---|
| Контроль (без клея) | 3250 |
| ПВА | |
| 1% | 3458,25 |
| 3% | 3500 |
| 5% | 4450 |
| 6% | 3499,75 |
| ПВС | |
| 1% | 4666,75 |
| 1,5% | 4333,25 |
| 2% | 7333,75 |
| 3% | 6625,5 |
| Серицин | |
| 2% | 32816,5 |
| 3% | 2833,25 |
| 5% | 3350,5 |
| 6% | 3223,25 |
| Крахмал | |
| 1% | 5292 |
| 1,5% | 3875,25 |
| 2% | 5750,25 |
| 3% | 4875,25 |

Заметим, что в сравнении с контрольным образцом пропитка ровницы клеевым раствором привела к увеличению общего количества пороков. Из приведенных данных видно, что с ростом концентрации клеящего вещества, используемого для пропитки ровницы, возрастает среднее количество пороков. При использовании ПВС наблюдаемое количество дефектов выше, чем при использовании других видов клеящего вещества. Пропитка ровницы растворами ПВА и серицина привела к увеличению среднего количества пороков примерно на 10–34%, в зависимости от концентрации. Применение крахмала увеличило долю пороков на 20–60%. При использовании ПВС этот показатель вырос почти в 2 раза по сравнению с контрольным образцом. Ухудшение качества полученной пряжи приводит к сбоям в процессе ткачества, а также влияет на внешний вид и качество готовой продукции.

Выводы по главе 3

1. Показано, что прядильный модуль МПБ-1 по своим техническим параметрам позволяет проводить эксперименты по выработке пряжи совмещенным вьюрково-клеевым способом.
2. Проведены эксперименты по наработке льняной пряжи вьюрково-клеевым способом с использованием клеящих составов на основе ПВС, ПВА, крахмала и серицина с варьированием концентрации на четырех уровнях, выбор которых производился по результатам изучения адгезии соответствующего клея к целлюлозе.
3. Анализ физико-механических свойств экспериментальных образцов пряжи позволяет сделать вывод о том, что клеевое упрочнение вьюрковой пряжи позволяет обеспечить прочность, сравнимую с прочностью кольцевой пряжи мокрого прядения.
4. Установлены зависимости удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации для всех использовавшихся клеевых составов.

5. Использование в качестве пропитки раствора серицина дает такие преимущества как упрочнение пряжи при незначительном ухудшении по порокам внешнего вида, а также экологичность получаемого продукта. Применение растворов крахмала в требуемых концентрациях ведет к нарушениям процесса вытяжки.

Растворы ПВА, ПВС позволяют обеспечить требуемую прочность пряжи, однако при этом существенно возрастает количество пороков внешнего вида, а полученная при использовании такой пряжи ткань нуждается в интенсивных режимах расшлихтовки.

6. Установлено, что при разматывании катушек пряжи, полученной совмещенным вьюрков-клеевым способом после высушивания слипание витков не наблюдается. Предварительная клеевая пропитка ровницы не ухудшила процесс сматывания пряжи с прядильной паковки.

ГЛАВА 4. МОДЕЛЬ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРЯДЕНИЯ

4.1 Анализ распределения волокон в пряже и ровнице

При исследовании продукта прядения одним из основных моментов является изучение его прочности. На прочность льняной некрученной ровницы влияет ряд таких факторов как силы поверхностного натяжения водяных пленок [57, 71, 73], наличие обвивочных волокон, а также наличие пектинов в составе льняного волокна. В [58] показано, что поверхностное натяжение, возникающее вследствие наличия капиллярной влаги между волокнами в мокром продукте, исчезает при его высыхании. Обвивочные волокна образуются на поверхности волокнистого продукта только при определенных соотношениях скорости движения волокнистого продукта и частоты вращения вьюрка [74 – 76]. В результате основным фактором, определяющим прочность волокнистого продукта, являются силы адгезии между волокнами. Как показано ранее, эти силы пропорциональны площади контакта между волокнами, которая в свою очередь определяется длиной участков скольжения соседних волокон и количеством этих участков.

Количество контактов между волокнами в волокнистом продукте существенно зависит от распределения волокон по его поперечному сечению. Для создания математической модели прочности некрученого продукта необходима модель такого распределения.

В первом приближении в качестве модели распределения волокон по сечению волокнистого продукта была предложена так называемая гексагональная модель. В этой модели сечения волокон представлялись окружностями равного диаметра, плотно заполняющими шестиугольник [57]. Данная модель представляет собой плотную паковку волокон, в которой каждое волокно касается шести соседних волокон.

На основе построенной модели были получены формулы для оценки прочности ровницы, экспериментальная проверка которых приведена в [73].

Очевидно, что такая модель далека от реальности. Полученные в результате расчетов по такой модели значения прочности ровницы превышают экспериментальные почти на порядок.

Более реальная модель предложена в [77]. В ней учтено, что волокна в сечении могут иметь разные размеры и распределены по сечению случайным образом. Закон распределения задается алгоритмом и не отражает реального закона распределения волокон по сечению. Адекватность полученной модели сечения текстильного продукта оценивается возможностью получения оценки для различных показателей, описывающих распределение волокон по сечению пряжи.

Расположение волокон в поперечном сечении одиночной нити рассмотрено в [78]. В [79] проведены исследования распределения волокон по поперечным сечениям пряжи кольцевого прядения. Отмечено, что большая часть волокон плотно располагается в центральной части рассматриваемой области сечения волокна. При удалении от центра волокна удаляются друг от друга.

В действительности поперечное сечение прядильного продукта представляет собой множество объектов произвольной, иногда причудливой, формы – сечений волокон. Они заполняют некоторую область округлой формы без четко выраженных границ. В случае рассмотрения крученого продукта прядения можно заметить, что в центральной части данной области сечения волокон располагаются достаточно близко, касаясь друг друга. Чем дальше от центра области, тем дальше сечения волокон отстоят друг от друга. В случае рассмотрения бескруточной ровницы, полученной мокрым способом, наблюдается четко выраженная вытянутая форма поперечного сечения. Это связано с тем, что мычка, выходящая из выпускной пары формирующего механизма, приобретает форму ленточки [80] и не подвергается дальнейшему кручению. Для повышения степени адекватности модели необходимо изучение формы сечений реальных продуктов прядения и распределения волокон в них.

Проводились экспериментальные исследования поперечных сечений продукта прядения на примере льняной ровницы с целью установления законов распределения волокон в сечениях. Полученные данные можно будет использовать при моделировании поперечного сечения продукта прядения с учетом реального расположения волокон в сечении.

Для проведения эксперимента были выбраны образцы крученой и бескруточной льняной ровницы линейной плотности 550 Текс. Отрезки ровницы длиной 20 мм заливались парафином для фиксации их в неподвижном состоянии. После затвердевания подготовленных образцов с помощью санного микротома МС-2 (рис.37) были выполнены их поперечные срезы толщиной 10-30 мкм.



Рис. 37 Микротом санный МС-2.

Далее с помощью цифрового микроскопа Levenhuk 870T с увеличением объектива 4× было получено по 10 цифровых изображений поперечных срезов крученой и бескруточной льняной ровницы (Приложение 2). Типовые изображения полученных срезов представлены на рисунках 38 и 39.

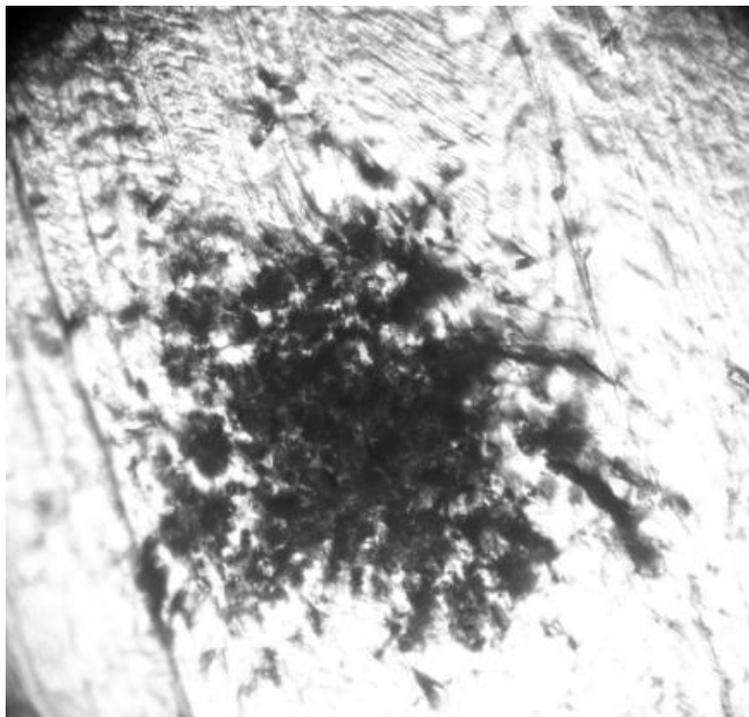


Рис. 38. Цифровое изображение поперечного сечения крученой ровницы

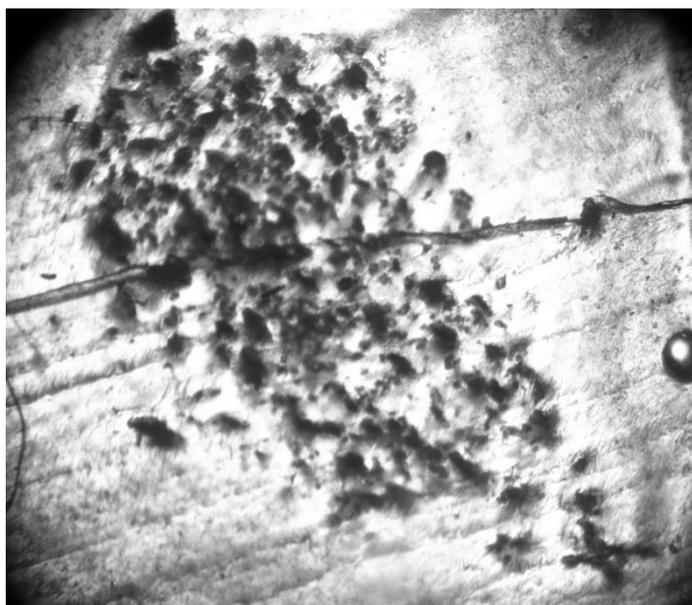


Рис. 39. Цифровое изображение поперечного сечения бескруточной ровницы

Проведя анализ полученных изображений, можно заметить, что в центральной части среза наблюдается максимальное скопление волокон. При удалении от центра количество волокон уменьшается. Точно определить границы участков с различной неравномерностью по занимаемой площади сечениями волокон достаточно затруднительно. С целью более четкой визуализации данных границ цифровое изображение с помощью программы Adobe Photoshop было преобразовано в монохромное изображение. Полученное монохромное изображение представлено на рисунке 40 – 41.

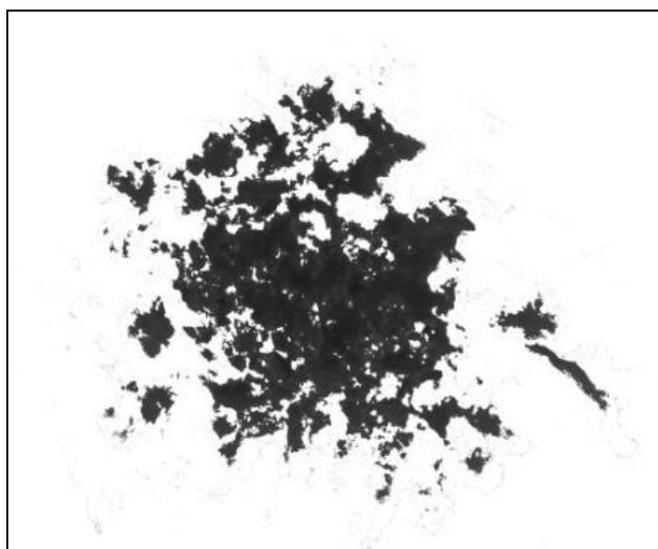


Рис. 40. Монохромное изображение поперечного сечения крученой ровницы



Рис. 41. Монохромное изображение поперечного сечения бескруточной ровницы

На монохромном изображении четко рассмотреть границы сечений волокон, входящих в состав ровницы, практически невозможно. Соприкасаясь друг с другом, сечения волокон сливаются в единое пятно произвольного размера и формы.

4.2 Бинаризация изображений

Полученные монохромные изображения сечений продуктов прядения содержат большое количество полутонов и деталей. Поэтому было предложено провести их бинаризацию. Согласно обзору методов бинаризации, представленному в [81], одним из наиболее эффективных методов по качеству и скорости обработки изображений является метод Оцу глобальной бинаризации. Этот метод применим для различных изображений без учета ввода каких-либо начальных условий. Он основывается на представлении изображения в виде некоторой плоскости с постоянным пороговым значением яркости. Суть метода заключается в определении порогового значения, при котором внутригрупповая дисперсия двух групп пикселей, разделенных оператором пороговой бинаризации, минимальна. В нашем случае к одной группе будут относиться пиксели, относящиеся к изображению сечения продукта прядения, к другой – пиксели фона.

При применении метода Оцу гистограмма распределения яркости пикселей изображения представляется в виде дискретной функции распределения вероятности $P(h)$ [82]:

$$P(h) = \frac{n_h}{Q}, \quad (9)$$

где n_h – количество пикселей с яркостью h , причем $h=0..I$ – наблюдаемые значения яркости пикселей, Q – площадь изображения.

По методу Оцу выбор критерия возможен двумя способами. В первом случае исследуют внутригрупповую дисперсию таким образом, чтобы взвешенная сумма внутригрупповых дисперсий была минимальна. Второй способ связан с межгрупповой дисперсией. Поиск значения порога H основан

на нахождении максимума квадрата разности средних значений обеих групп. Минимизация внутригрупповой дисперсии равносильна максимизации межгрупповой дисперсии. Поэтому результаты, полученные этими способами, совпадают.

Общую внутригрупповую дисперсию D_o можно рассчитать по формуле:

$$D_o(H) = P_1(H)D_1(H) + P_2(H)D_2(H), \quad (10)$$

где $D_1(H)$ – дисперсия первой группы, состоящей из не превосходящих H значений яркости пикселей,

$D_2(H)$ – дисперсия второй группы, состоящей из превосходящих H значений яркости пикселей,

$P_1(H), P_2(H)$ – суммарные значения вероятностей первой и второй группы соответственно, вычисляемые по формулам (11), (12).

$$P_1(H) = \sum_{h=1}^H P(h), \quad (11)$$

$$P_2(H) = \sum_{h=H+1}^I P(h). \quad (12)$$

По формулам (13), (14) выразим средние значения $m_1(H), m_2(H)$ для каждой группы:

$$m_1(H) = \sum_{h=1}^H \frac{hP(h)}{P_1(H)}, \quad (13)$$

$$m_2(H) = \sum_{h=H+1}^I \frac{hP(h)}{P_2(H)}. \quad (14)$$

Тогда внутригрупповые дисперсии можно вычислить по формулам (15), (16):

$$D_1(H) = \sum_{h=1}^H [h - m_1(H)]^2 \frac{P(h)}{P_1(H)}, \quad (15)$$

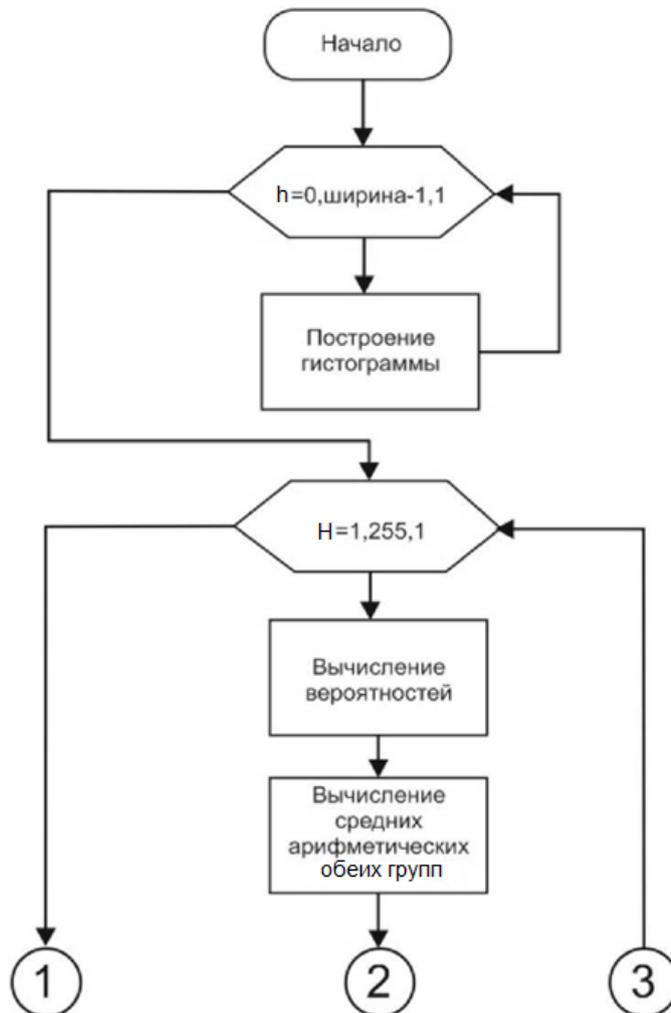
$$D_2(H) = \sum_{h=H+1}^I [h - m_2(H)]^2 \frac{P(h)}{P_2(H)}. \quad (16)$$

С учетом связи внутригрупповой и полной дисперсии получим формулу (17) для вычисления полной дисперсии:

$$D(H) = D_o(H) + P_1(H)[1 - P_1(H)] \cdot [m_1(H) - m_2(H)]^2. \quad (17)$$

Второе слагаемое представляет собой формулу для вычисления межгрупповой дисперсии. С целью минимизации внутригрупповой дисперсии D_o , Пороговое значение H вычисляется при условии максимального значения межгрупповой дисперсии.

На рисунке 42 представлена блок-схема алгоритма бинаризации методом Оцу на основе приведенного математического описания.



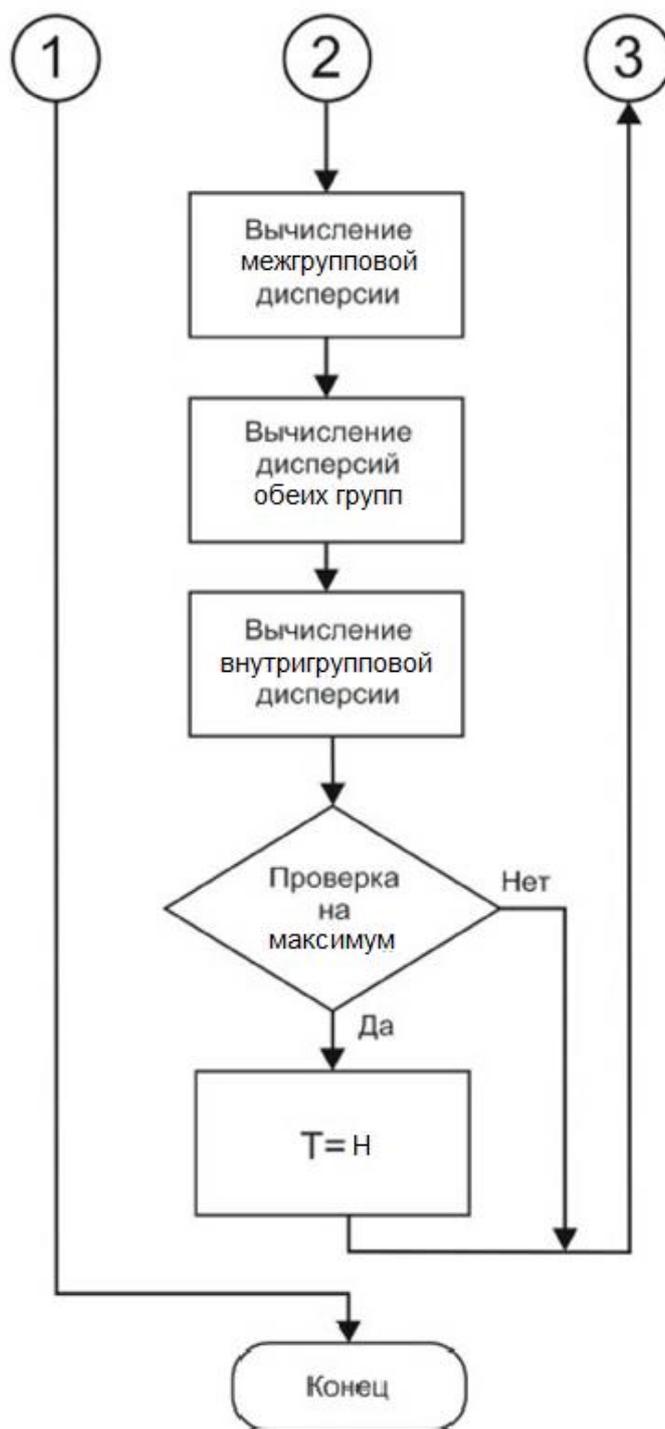


Рис.42 Блок-схема метода Оцу

С помощью компьютерной программы была проведена бинаризация полученных монохромных изображений со средним пороговым значением N . При этом пиксели фона окрашиваются в белый цвет, сечение продукта прядения выделяется черным цветом. Одиночные черные пиксели рассматриваются как шум и окрашиваются в белый цвет. Таким образом,

были получены бинарные изображения поперечного сечения продуктов прядения (рис. 43, 44). Дальнейшие исследования было предложено проводить с учетом расположения черных и белых пикселей на изображении.



Рис. 43 Бинарное изображение поперечного сечения крученой ровницы



Рис. 44 Бинарное изображение поперечного сечения бескруточной ровницы

4.3 Распределение волокон в сечении пряжи и ровницы

Прочность продукта, получаемого в процессе прядения, во многом зависит от строения его поперечного сечения. С целью установления законов

распределения волокон в сечениях необходимо исследовать полученные изображения [83].

Обработка бинарных изображений проводилась с помощью специально созданной компьютерной программы (Приложение 3). На первом этапе с помощью формул (18) были определены координаты (C_x, C_y) центра тяжести сечения ровницы.

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad C_y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (18)$$

где x_i, y_i – расстояния от черных пикселей до соответствующих координатных осей Ox и Oy ,

n – общее количество черных пикселей.

На следующем этапе выполнялось построение 5 радиальных окружностей с центром в точке (C_x, C_y) . Окружностям были присвоены номера от 1 до 5, считая от центра. Радиус большей окружности определялся расстоянием от центра тяжести сечения до наиболее удаленного от него черного пикселя.

Для исследования полученного поперечного сечения продукта прядения в тангенциальном направлении через центр тяжести сечения проводились прямые, разбивающие изображение на 12 равновеликих секторов. Секторы были пронумерованы, начиная с крайнего правого положения в направлении обхода против часовой стрелки. Пример результата разбиения поперечного среза крученой ровницы представлен на рисунке 45.

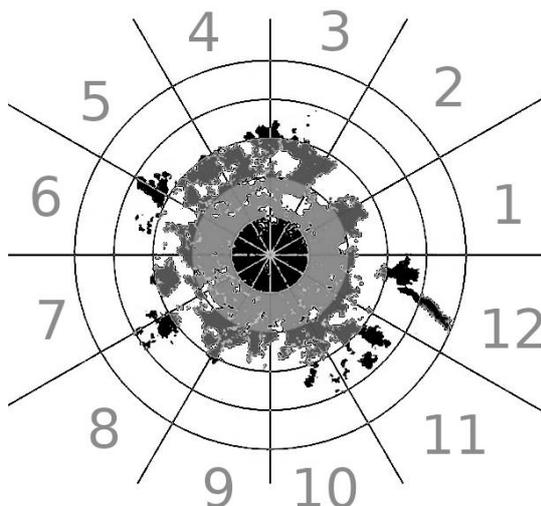


Рис.45. Радиальное и секторальное разбиение поперечного сечения крученой ровницы

Аналогичное разбиение проводилось для всех полученных изображений. Поскольку площадь пикселей одинакова, то количество пикселей в каждом секторе пропорционально количеству волокон в нем. Подсчет пикселей в каждом кольце и каждом секторе проводился с помощью программы.

Анализ полученных изображений дал основания для выдвижения гипотезы о нормальном распределении сечений волокон в поперечном сечении крученой ровницы в радиальном направлении.

С целью подтверждения или опровержения выдвинутой гипотезы были применены статистические методы [84, 85]. Проверка гипотезы о нормальном распределении волокон в поперечном сечении крученой ровницы в радиальном направлении проводилась с помощью критерия Пирсона.

Экспериментальные данные были представлены в виде интервального вариационного ряда. Для удобства проведения последующих вычислений было выделено 10 интервалов с шагом разбиения 1. Первому интервалу соответствовало пятое полукольцо, включающее секторы 4-9, второму интервалу – четвертое полукольцо, содержащее секторы 4-9 и т.д. Десятый

интервал соответствовал пятому полукольцу с секторами 10, 11, 12, 1, 2, 3. Каждому интервалу ставилось в соответствие среднее значение части площади соответствующего ему полукольца, заполненной черными пикселями.

Далее вычислялось наблюдаемое значение критерия Пирсона. Было получено значение $\kappa_{набл} = 0,48$ для крученой ровницы и $\kappa_{набл} = 0,43$ для бескруточной ровницы. Эти значения необходимо сравнить с критическим значением $\kappa_{кр}$ правосторонней критической области.

По таблице критических точек распределения χ^2 Пирсона находим величину $\kappa_{кр} = 14,07$, с учетом уровня значимости $\alpha = 0,05$ и количества степеней свободы 7.

Таким образом, исходя из выполнения условия $\kappa_{набл} < \kappa_{кр}$, можно говорить о подтверждении гипотезы о нормальном распределении сечений волокон в поперечном сечении льняной ровницы в радиальном направлении.

Для данного нормального распределения были получены следующие параметры распределения: для крученой ровницы среднее значение $X_{cp} = 0,03$ пикселя, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1,68$ пикселя, для бескруточной ровницы – $X_{cp} = 0,01$ пикселя, $\sigma = 2,17$ пикселей.

Рассмотрим секторальное разбиение полученных изображений поперечного сечения ровницы. Процентное значение площади, занимаемой черными пикселями в каждом из 12 секторов, приведено в таблице 11.

Таблица 11

Процентное значение площади, занимаемой черными пикселями

| Номер сектора | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------|----------------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| % занятой площади | Крученая ровница | 12,1 | 15,6 | 18,5 | 17,6 | 18,5 | 17,6 | 18,1 | 18,4 | 12,3 | 15,4 | 19 | 20,7 |
| | Бескруточная ровница | 3,01 | 4,02 | 8,41 | 15,18 | 22,76 | 14,84 | 5,7 | 6,31 | 5,09 | 11,57 | 22,3 | 8,49 |

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что при секторальном разбиении поперечного сечения крученой ровницы площадь, занимаемая черными пикселями в каждом секторе, примерно одинакова. Это может свидетельствовать о равномерном распределении сечений волокон в поперечном сечении ровницы в тангенциальном направлении. При проверке данной гипотезы с помощью критерия χ^2 Пирсона с учетом уровня значимости $\alpha = 0,05$ и количества степеней свободы 11 было найдено значения $\kappa_{кр} = 26,76$, а также вычислено значение $\kappa_{набл} = 4,52$. Из выполнения условия $\kappa_{набл} < \kappa_{кр}$ следует подтверждение гипотезы о равномерном распределении сечений волокон в поперечном сечении льняной крученой ровницы в тангенциальном направлении.

В случае бескруточной ровницы распределение волокон по секторам не подчиняется равномерному закону. Значение $\kappa_{набл} = 47,7$ превосходит значение $\kappa_{кр} = 26,76$. Гипотеза о нормальном распределении также опровергается соотношением между найденными $\kappa_{набл} = 69,03$ и $\kappa_{кр} = 16,92$. Таким образом, в качестве модели распределения сечений волокон в поперечном сечении бескруточной ровницы в тангенциальном направлении можно принять полученное экспериментальное распределение.

Следующим этапом в процессе исследования поперечного сечения льняной ровницы являлось определение процентного содержания черных пикселей, попавших в определенный сектор каждой окружности, от их общего количества. Результат работы программы на данном этапе представлен в таблицах 12 – 13.

Анализируя данные, приведенные в таблице 12, можно заметить, что во внутреннюю область каждого круга с учетом разбиения на сектора попадает примерно одинаковое количество черных пикселей. Значит, при одновременном радиальном и секторальном разбиении волокна в сечении крученой ровницы располагаются равномерно.

Таблица 12

Процентное содержание пикселей по областям (в %) в крученой ровнице

| | 1 кольцо | 2 кольцо | 3 кольцо | 4 кольцо | 5 кольцо |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 сектор | 1,92 | 2,62 | 1,23 | 0,12 | 0 |
| 2 сектор | 1,84 | 3,5 | 1,69 | 0,52 | 0,04 |
| 3 сектор | 1,65 | 4,51 | 2,85 | 0,02 | 0 |
| 4 сектор | 1,68 | 4,68 | 2,22 | 0 | 0 |
| 5 сектор | 1,93 | 4,7 | 2,37 | 0 | 0 |
| 6 сектор | 1,87 | 4 | 2,56 | 0,06 | 0 |
| 7 сектор | 1,76 | 3,87 | 2,69 | 0,52 | 0 |
| 8 сектор | 1,81 | 3,96 | 2,05 | 0,92 | 0,23 |
| 9 сектор | 1,85 | 3,27 | 0,58 | 0,25 | 0,05 |
| 10 сектор | 1,84 | 3,65 | 1,96 | 0,05 | 0 |
| 11 сектор | 1,82 | 4,06 | 2,42 | 0,3 | 0,65 |
| 12 сектор | 1,87 | 3,21 | 3,64 | 1,3 | 0,03 |

Таблица 13

Процентное содержание пикселей по областям (в %) в бескруточной ровнице

| | 1 кольцо | 2 кольцо | 3 кольцо | 4 кольцо | 5 кольцо |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 сектор | 1,29 | 1,02 | 0,04 | 0 | 0 |
| 2 сектор | 1,12 | 1,95 | 0,06 | 0 | 0 |
| 3 сектор | 0,98 | 3,81 | 1,75 | 0,01 | 0 |
| 4 сектор | 1,82 | 4,19 | 4,83 | 0,97 | 0 |
| 5 сектор | 2,56 | 5,19 | 8,13 | 1,85 | 0 |
| 6 сектор | 2,37 | 5,46 | 3,71 | 0,02 | 0 |
| 7 сектор | 1,33 | 2,71 | 0,4 | 0 | 0 |
| 8 сектор | 1,84 | 1,51 | 1,56 | 0 | 0 |
| 9 сектор | 1,49 | 2,29 | 0,18 | 0 | 0 |
| 10 сектор | 1,73 | 2,95 | 4,03 | 0,14 | 0,17 |
| 11 сектор | 1,22 | 2,14 | 4,8 | 4,18 | 5,02 |
| 12 сектор | 1,31 | 2,95 | 2,06 | 0,29 | 0 |

В случае с бескруточной ровницей замечаем, что при удалении от центра распределение черных пикселей в круге с учетом разбиения на секторы становится неравномерным. При моделировании поперечного сечения бескруточной ровницы в качестве модели распределения рекомендуется принять экспериментальный закон в виде полученной таблицы 13.

Для установления соотношения между размерами пикселей на изображении и реальными размерами волокон получили цифровое изображение микропровода диаметром 0,03 мм и 0,07 мм, представленные на

рисунке 46 (а, б) соответственно. Условия съемки совпадали с условиями, использовавшимися при съемке срезов ровницы.

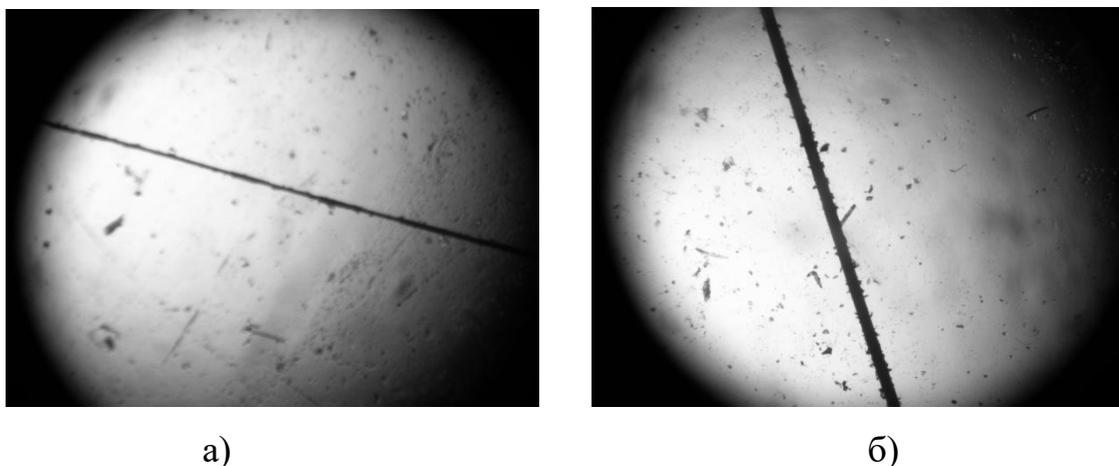


Рис. 46 Цифровое изображение микропровода диаметром 0,03 мм – а, 0,07 мм – б

Анализ полученных изображений позволил получить масштаб для расчета размеров волокон на изображении, который составил 93,5 пикселей/мм. Таким образом, на основе полученных данных может быть осуществлен переход от экспериментальных цифровых данных к реальным размерам площади поперечного сечения волокна и ровницы с целью дальнейшего исследования и прогнозирования его прочностных свойств.

4.4 Определение числа контактов между волокнами в поперечном сечении продукта прядения

Количество контактов между волокнами зависит от распределения волокон по поперечному сечению продукта прядения.

Была создана специальная компьютерная программа для исследования цифровых изображений поперечных сечений ровницы, полученных в результате эксперимента, описанного в пункте 4.1. Программа осуществляет подсчет количества волокон, входящих в состав продукта прядения. Обработке подвергались бинаризованные изображения, представляющие собой прямоугольную матрицу, состоящую из черных и белых пикселей.

Очевидно, что черными пятнами на бинаризованном изображении представлены волокна и группы волокон, расположенных в контакте друг с другом.

При создании алгоритма подсчета количества волокон в сечении необходимо знать среднюю площадь сечения одного волокна. Было принято допущение о том, что фрагменты изображения с наименьшей площадью представляют собой сечения отдельных волокон. Количество пикселей в таких фрагментах принималось за площадь одиночного волокна. При этом было установлено, что средняя площадь сечения одиночного волокна в ровнице равна 9 пикселям. При наиболее компактном расположении пикселей его линейный размер будет равен 3 пикселям. С учетом полученного ранее масштаба изображения 93,5 пикселей/мм он составит 32 мкм. Это хорошо согласуется с данными, приведенными в [64], согласно которым толщина элементарного волокна чесаного льна составляет 15-30 мкм.

Программа производила подсчет волокон, располагающихся изолированно от общей массы, а также контактирующих между собой. Прочность полученного продукта в большей степени обеспечивается массой волокон, находящихся в центральной части сечения, склеенных между собой. С помощью программы было подсчитано количество черных пикселей, образующих пятно контактирующих волокон. Затем, разделив полученное значение на среднюю площадь сечения одиночного волокна, получили количество контактирующих волокон. Таким образом, было определено среднее количество контактирующих волокон, образующих поперечное сечение продукта прядения.

Так как изображение поперечного сечения текстильного продукта представляет собой пятно произвольной формы, состоящее из контактирующих волокон, необходимо установить зависимость количества контактов волокон от площади (числа волокон) и периметра сечения (в пикселях).

Для получения данной зависимости был проведен анализ простейших моделей расположения контактирующих волокон при заданном их количестве [86]. Так как обработка реальных изображений проводилась в пиксельной форме, а также для удобства подсчета, волокно было представлено квадратом, состоящим из $c \times c$ пикселей.

На начальном этапе была рассмотрена простейшая модель сечения, представляющая собой цепочку из сечений волокон длиной nc пикселей, где n – количество контактирующих волокон, образующих сечение продукта прядения. С целью установления зависимости количества контактов между волокнами от площади и периметра полученного сечения модель усложнялась путем сложения модельного продукта. На каждом этапе изменения модели сечения производился подсчет периметра и количества контактов между волокнами. В результате были получены формулы (19) и (20), выражающие зависимость периметра сечения P , а также количества контактов Z от количества сложений N :

$$P = \frac{2nc + 2N^2c}{N} \quad (19)$$

$$Z = \frac{(2N - 1)nc - N^2c}{Nc} \quad (20)$$

Исключив из этих выражений N – число сложений, получили зависимость $Z(P)$:

$$Z(P) = \frac{8nc(P \pm \sqrt{P^2 - 16nc^2}) - 16nc^2 - (P \pm \sqrt{P^2 - 16nc^2})^2}{4c(P \pm \sqrt{P^2 - 16nc^2})} \quad (21)$$

Анализ полученной формулы показал, что при выборе знака « \pm » она не имеет физического смысла. Поэтому в качестве математической модели, позволяющей определить число контактов между волокнами продукта

прядения в зависимости от числа волокон и периметра его поперечного сечения, была принята формула (22).

$$Z(P) = \frac{8nc(P + \sqrt{P^2 - 16nc^2}) - 16nc^2 - (P + \sqrt{P^2 - 16nc^2})^2}{4c(P + \sqrt{P^2 - 16nc^2})} \quad (22)$$

Очевидно, что периметр продукта будет наибольшим при расположении волокон в сечении в одну линию, т.е. он не может быть больше, чем $P_{\max} = 2(nc + 1)$. Наименьшее значение периметр принимает в случае, если продукт в сечении имеет форму окружности, т. е. $P_{\min} = 2c\sqrt{\pi n}$. В результате анализа полученных цифровых изображений сечения льняной ровницы экспериментально было установлено значение параметра $c \approx 3$ пикселя. Подставляя данное значение в формулу (19), а также задав количество n контактирующих волокон, можно построить график полученной зависимости.

Используя справочные данные [64], а также учитывая линейную плотность продукта прядения, используемого для эксперимента, было установлено значение количества технических волокон в сечении ровницы $n \approx 100 \dots 150$ штук.

На рисунке 47 представлены графики полученной математической модели при различных значениях количества контактирующих волокон n в поперечном сечении льняной ровницы.

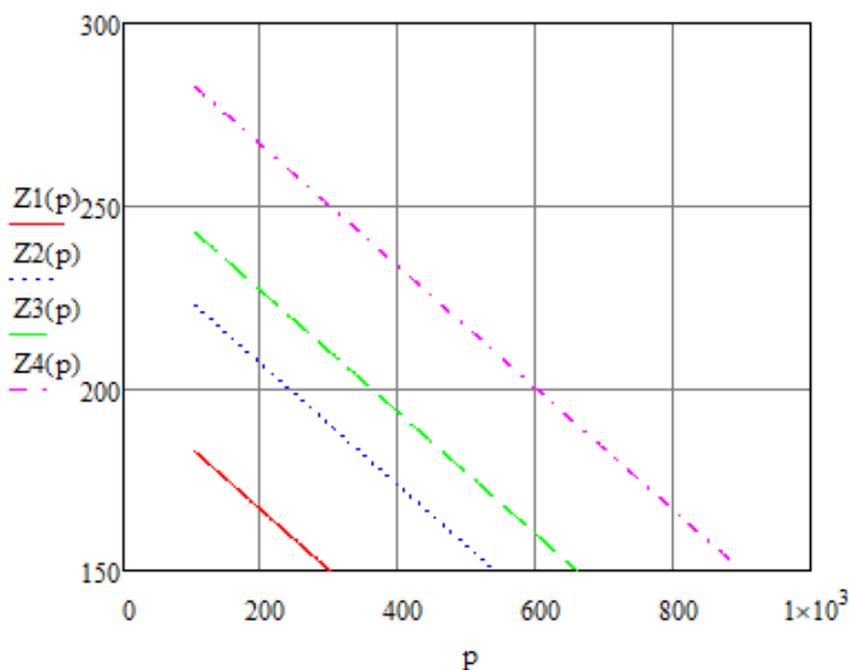


Рис. 47 Графики зависимости количества контактов между волокнами от периметра поперечного сечения p (пикс.):
 $Z_1(p)$ при $n=100$; $Z_2(p)$ при $n=120$; $Z_3(p)$ при $n=130$; $Z_4(p)$ при $n=150$

Анализируя полученные графические модели, можно сделать вывод, что увеличение числа контактирующих волокон приводит к увеличению периметра поперечного сечения ровницы, а также росту числа контактов между волокнами. При постоянном количестве контактирующих волокон с увеличением периметра сечения количество контактов уменьшается практически линейно.

Используя полученное значение количества контактов волокон, можно вычислить по предложенной выше формуле (1) общую длину контакта волокон, входящих в состав продукта прядения и, зная относительную силу адгезии, рассчитать прочность продукта прядения после сушки.

4.5 Расчет площади контакта волокон

С целью изучения прочностных характеристик полученных продуктов прядения необходимо вычислить общую площадь контакта волокон. Для

этого требуется знать среднюю длину волокон, входящих в состав продукта прядения.

В [57] модель прочности бескруточной ровницы построена в предположении, что ровница состоит из волокон одинаковой длины. Фактически любой текстильный продукт, в том числе ровница состоит из волокон разной длины. Полное представление о волокнистом составе продукта прядения дает функция распределения волокон по длине (штапельная диаграмма).

В качестве модельного продукта для оценки степени адгезии была принята суровая льняная ровница с линейной плотностью 1,2 ктекс.

Был проведен эксперимент по построению экспериментальной кривой распределения длин волокон в ровнице (рис. 48). В результате сортировки волокон с интервалом 24 мм получены группы со средними длинами l_1, l_2, \dots и долей волокон в каждой группе n_1, n_2, \dots [87, 88].

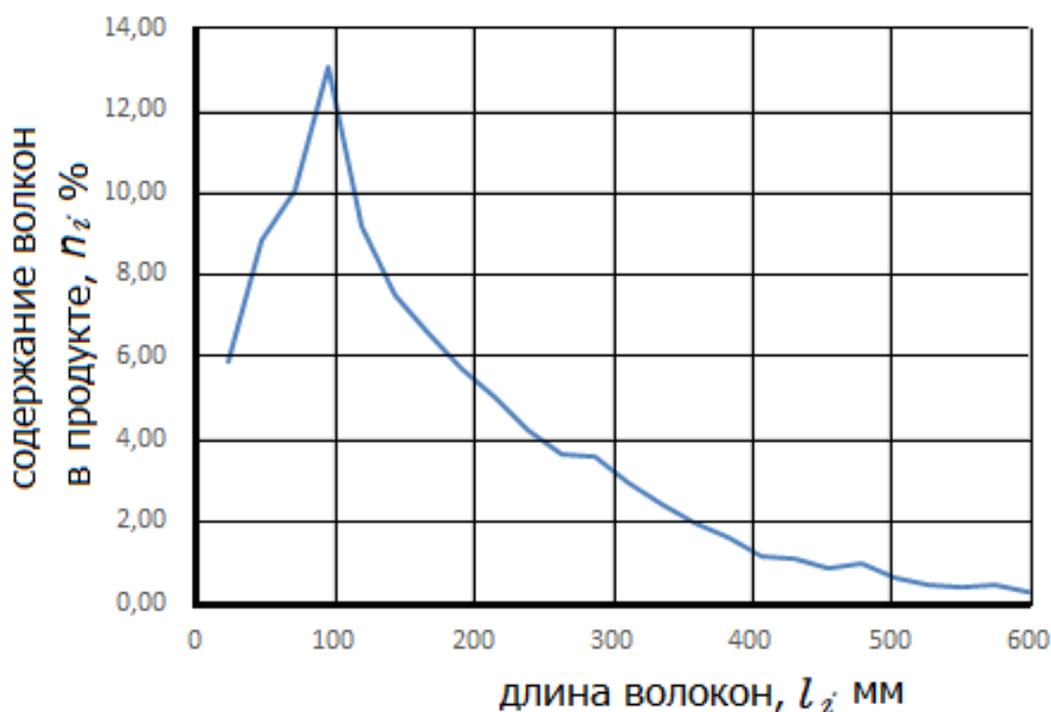


Рис.48 Экспериментальная кривая распределения длин волокон в ровнице

На кривой распределения абсцисса точки с максимальной ординатой соответствует модальной длине. В данном случае эта длина составляет около 100 мм.

Очевидно, что длина волокон в составе ровницы различна. Поэтому для характеристики показателя длины волокна l при построении математической модели прочности бескруточной ровницы можно принять значение средней длины l_a . Для подсчета средней длины используем статистические методы.

Исследуем полученную выборку методом произведений [84], с помощью которого найдем среднюю выборочную \bar{x}_g , выборочную дисперсию D_g , выборочное среднее квадратическое отклонение σ_g . Были получены следующие значения: $\bar{x}_g \approx 151,4$ мм, $D_g \approx 1757,5$, $\sigma_g \approx 41,9$. Из закона больших чисел следует, что средняя выборочная может быть использована в качестве оценки средней генеральной, при этом она является несмещенной. Принимаем $l_a = \bar{x}_g$.

Оценка генеральной дисперсии с помощью выборочной является смещенной, поэтому в качестве несмещенной оценки используют «исправленную» выборочную дисперсию S^2 , а несмещенной оценкой генерального среднего квадратического отклонения будет S . Следует отметить, что при больших выборках значения D_g и S^2 , σ_g и S приблизительно равны.

В качестве оценки выборочного среднего используется величина, называемая стандартной ошибкой среднего:

$$S_x^- = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (23)$$

Она показывает, какая ошибка в среднем допускается при замене генеральной средней ее выборочной характеристикой \bar{x}_g , т.е.

$$l_a = \bar{x}_g \pm S_x^-. \quad (24)$$

Получаем $S_x = 1,5$ мм.

Таким образом, значение средней длины волокон, входящих в состав исследуемого продукта прядения составляет $151,4 \pm 1,5$ мм.

Для вычисления площади контактов между волокнами, входящими в состав прядильного продукта, используем формулу

$$S_{\text{конт}} = \frac{1}{4} l_a Z(P) k d_g, \quad (25)$$

где $Z(P)$ – количество контактов между волокнами, в зависимости от периметра поперечного сечения продукта прядения P ;

d_g – диаметр волокна;

k – эмпирический коэффициент, учитывающий извитость волокон.

Введение коэффициента k связано с тем, что реальные волокна не являются прямолинейными, они имеют извитость. Поэтому реальная длина контактов между волокнами меньше, чем полученная по формуле (24).

В первом приближении примем $k = 1$. В таблице 14 приведены результаты вычислений общей площади контакта волокон при различных значениях количества волокон, диаметра и длины волокон.

Таблица 14

Вычисление общей площади контакта волокон

| Длина волокон, мм | Количество волокон, шт. | Количество контактов, шт. | Диаметр волокна, мкм | Общая площадь контакта волокон, мм ² |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|---|
| 100 | 100 | 180 | 15 | 67,5 |
| 100 | 120 | 225 | 20 | 112,5 |
| 100 | 130 | 245 | 25 | 153,125 |
| 100 | 150 | 280 | 30 | 210 |

Для вычисления разрывной нагрузки необходимо общую площадь контакта волокон умножить на коэффициент адгезии, который зависит от вида и концентрации клеевого состава, используемого для получения пряжи.

В таблице 15 приведены значения коэффициента адгезии ($\text{H}/\text{мм}^2$) для клеевых растворов ПВА, ПВС и серицина 1%, 3% и 6%-ной концентрации.

Таблица 15

Значения коэффициента адгезии

| | 1% | 3% | 6% |
|---------|------|------|------|
| ПВА | 0,06 | 0,16 | 0,32 |
| ПВС | 0,16 | 0,5 | 0,86 |
| Серицин | 0,03 | 0,07 | 0,11 |

Опираясь на данные таблиц 14 и 15, получим значения разрывной нагрузки при различной концентрации клеевых составов, представленные в таблицах 16 – 18.

Сравнивая полученные значения разрывной нагрузки с экспериментальными данными, приведенными в таблицах 4, 5 и 6, получим значения коэффициента k при использовании растворов ПВА, ПВС и серицина в концентрациях 1%, 3%, 6%, представленные в таблице 19. Значение коэффициента для ПВС 6%-ной концентрации не вычислялось, так как экспериментально было установлено, что процесс получения пряжи с использованием ПВС в концентрации выше 3% невозможен из-за налипания мычки на валик первой линии вытяжного прибора.

Таблица 16

Разрывная нагрузка при 1%- концентрации связующего

| Клеящий материал | Общая площадь контакта, мм^2 | Разрывная нагрузка, Н |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| ПВА | 67,5 | 4,05 |
| | 112,5 | 6,75 |
| | 153,125 | 9,19 |
| | 210 | 12,6 |
| ПВС | 67,5 | 10,8 |
| | 112,5 | 18 |
| | 153,125 | 24,48 |
| | 210 | 33,6 |
| Серицин | 67,5 | 2,03 |
| | 112,5 | 3,38 |
| | 153,125 | 4,59 |
| | 210 | 6,3 |

Таблица 17

Разрывная нагрузка при 3-% концентрации связующего

| Клеящий материал | Общая площадь контакта, мм ² | Разрывная нагрузка, Н |
|------------------|---|-----------------------|
| ПВА | 67,5 | 10,8 |
| | 112,5 | 18 |
| | 153,125 | 24,5 |
| | 210 | 33,6 |
| ПВС | 67,5 | 33,75 |
| | 112,5 | 56,25 |
| | 153,125 | 76,56 |
| | 210 | 105 |
| Серицин | 67,5 | 4,72 |
| | 112,5 | 7,87 |
| | 153,125 | 10,7 |
| | 210 | 14,7 |

Таблица 18

Разрывная нагрузка при 6-% концентрации связующего

| Клеящий материал | Общая площадь контакта, мм ² | Разрывная нагрузка, Н |
|------------------|---|-----------------------|
| ПВА | 67,5 | 21,6 |
| | 112,5 | 36 |
| | 153,125 | 49 |
| | 210 | 67,2 |
| Серицин | 67,5 | 7,42 |
| | 112,5 | 12,3 |
| | 153,125 | 16,8 |
| | 210 | 23,1 |

Таблица 19

Значения коэффициента k

| | 1% | 3% | 6% |
|---------|-----|-----|-----|
| ПВА | 0,5 | 0,7 | 0,9 |
| ПВС | 0,7 | 0,8 | – |
| Серицин | 0,3 | 0,5 | 0,7 |

Полученные значения коэффициента необходимо учитывать при вычислении площади контакта волокон для последующего расчета прочности клеевого продукта прядения.

4.6 Разработка математической модели прочности клеевого продукта прядения

Основу математической модели составляют зависимости, полученные в разделах 2.2, 3.3, 4.3, 4.4. Модель предназначена для прогнозирования разрывной нагрузки продуктов прядения (ровницы или пряжи), полученных клеевым бескруточным способом или расчета повышения разрывной нагрузки за счет клеевого упрочнения продуктов прядения, полученных другими способами.

Модель представляет собой алгоритм, который можно проиллюстрировать схемой (рис. 49).

По представленной блок-схеме была создана компьютерная программа, позволяющая рассчитать прочность продукта прядения при изменении различных факторов.

Исходными данными для составления математической модели прочности продукта прядения являются:

- сырьевой состав;
- вид продукта (ровница или пряжа);
- способ получения (клеевая, бескруточная с клеевым упрочнением);
- штапельная диаграмма;
- линейная плотность волокна;
- линейная плотность пряжи;
- вид клеевого состава для упрочнения;
- концентрация клеевого состава.

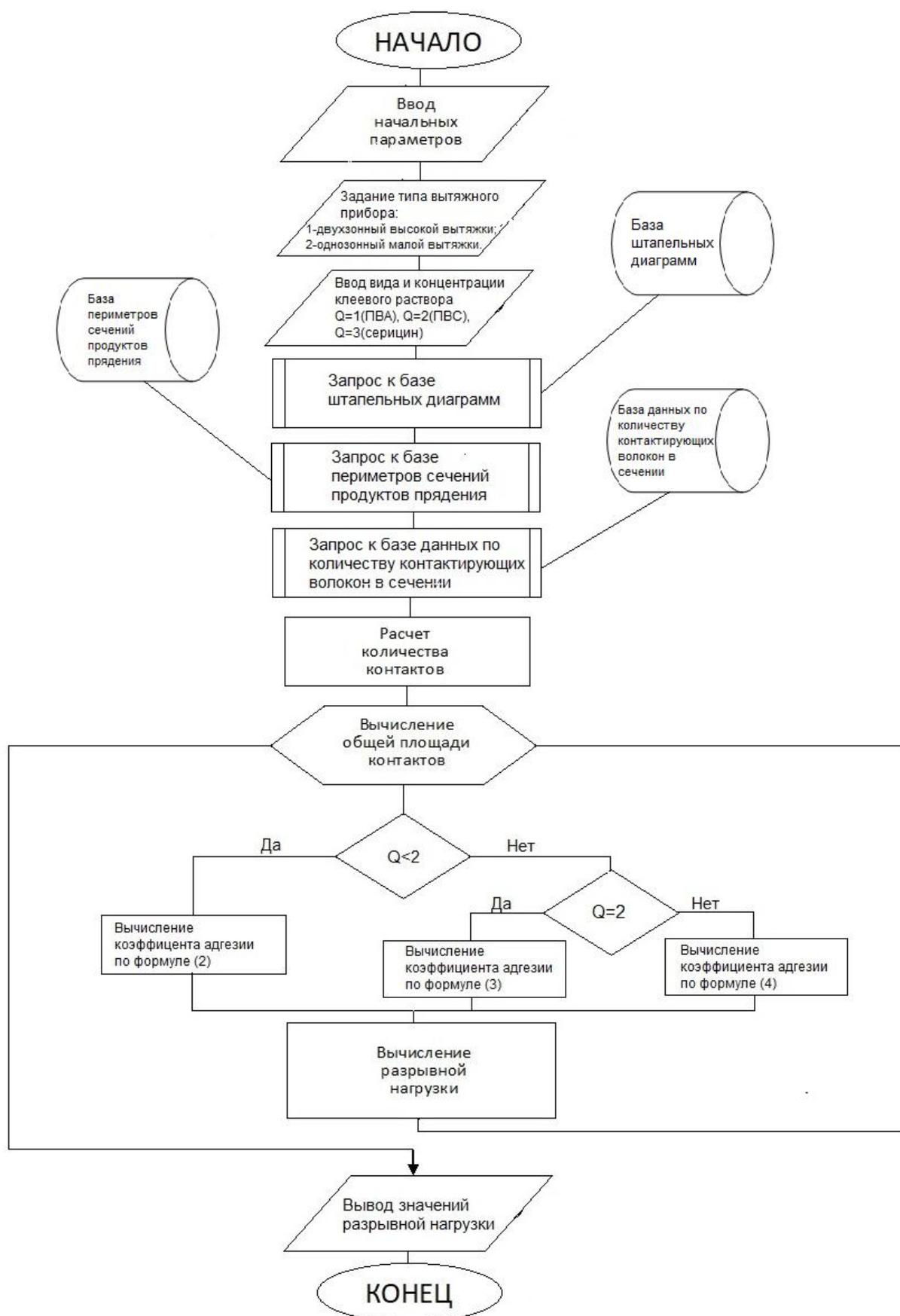


Рис. 49 Блок-схема алгоритма вычисления разрывной нагрузки

На первом этапе выполнения алгоритма производится ввод начальных параметров: вид продукта, линейная плотность волокна, способ получения, вид и концентрация клеевого раствора, используемого для получения продукта прядения. Далее программа обращается к базам данных, в которых содержатся экспериментально полученные значения средней длины волокна, входящего в состав продукта прядения, периметр поперечного сечения и количество контактирующих волокон в сечении. Из представленных данных выбираются значения, которые соответствуют начальным параметрам, введенным пользователем. Таким образом, программа подбирает данные для проведения дальнейших вычислений.

После выбора необходимых значений на следующем этапе по формуле (22) производится подсчет количества контактов между волокнами.

Далее по формуле (25) рассчитывается общая площадь контакта волокон.

На следующем этапе согласно введенным на начальном этапе данным о виде и концентрации клеевого состава, используемого для производства клеевого продукта прядения, определяется коэффициент адгезии связующего на основе корреляционных моделей, полученных в пункте 2.2, используя формулы (2) – (4).

На заключительном шаге выполнения алгоритма производится расчет прочности продукта прядения путем вычисления разрывной нагрузки. Для этого вычисляется произведение площади контакта волокон и коэффициента адгезии.

В результате выполнения программы были получены значения, на основе которых построены графики, представляющие зависимость разрывной нагрузки от линейной плотности продукта прядения, вида и концентрации используемого клеевого раствора (рис. 50–52).

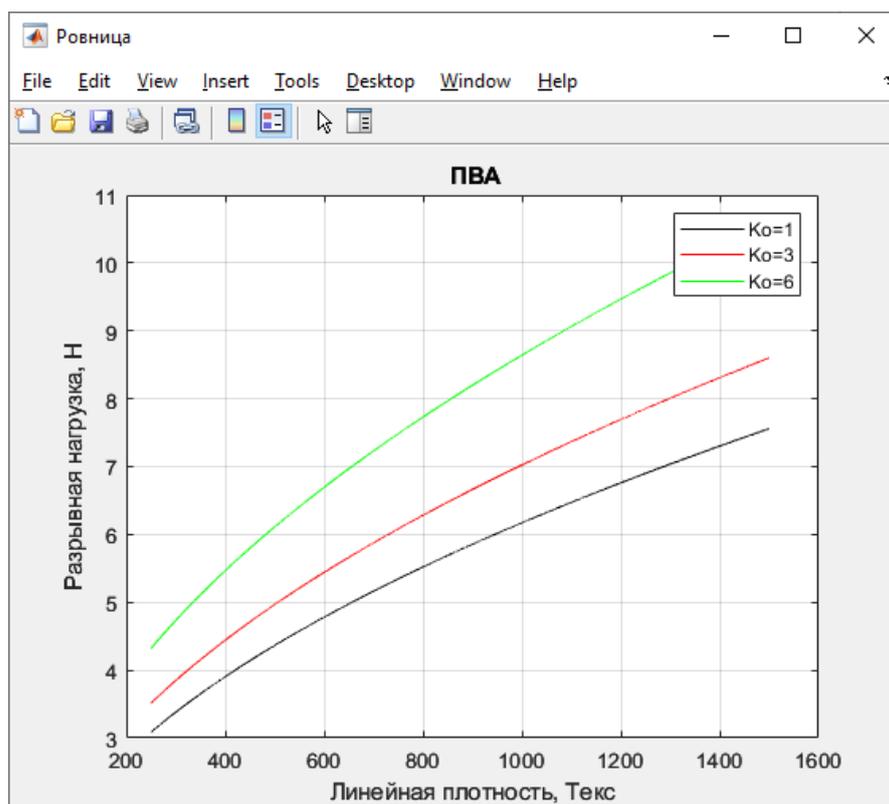


Рис. 50 График разрывной нагрузки при использовании ПВА в концентрациях 1%, 3%, 6%

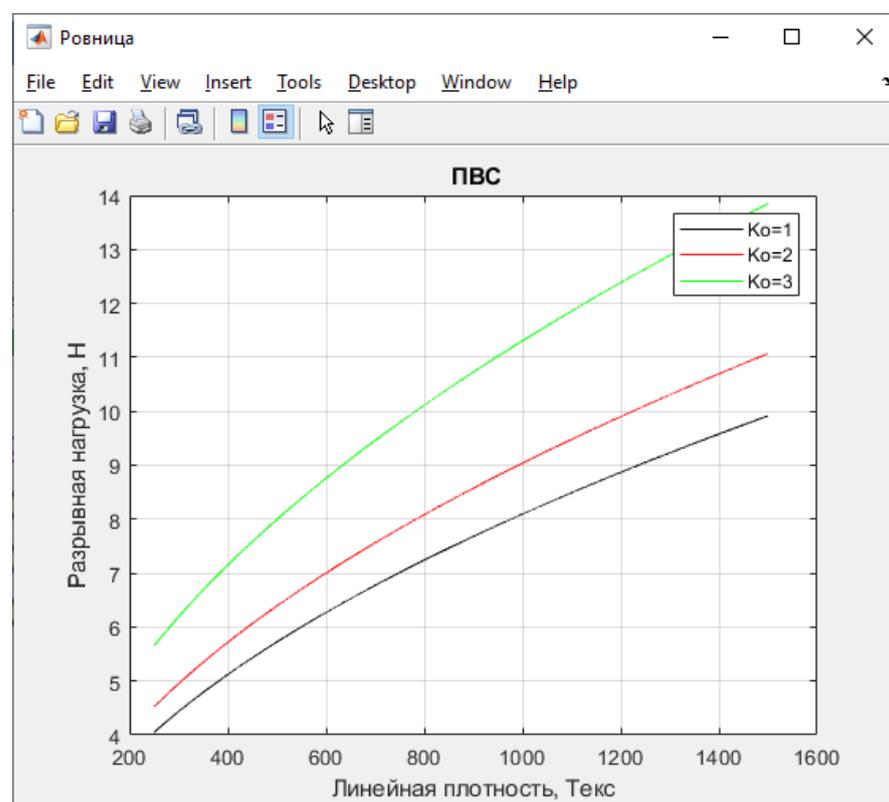


Рис.51 График разрывной нагрузки при использовании ПВС в концентрациях 1%, 2%, 3%

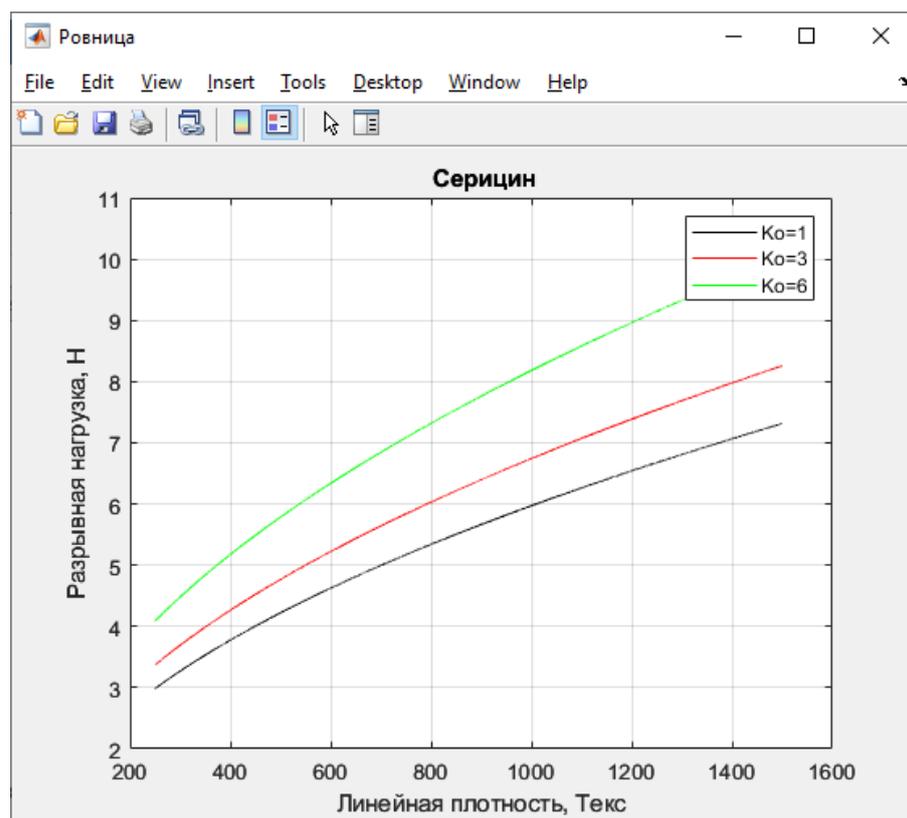


Рис.52 График разрывной нагрузки при использовании серицина в концентрациях 1%, 3%, 6%

Для построения представленных зависимостей были приняты следующие начальные параметры: диаметр волокна 0,03 мм, $P = 4,8$ мм, количество волокон $n = 140$ штук, плотность волокна $\rho = 0,5$ мг/мм³, средняя длина волокна $l_a = 150$ мм, линейная плотность $T = 250 - 1500$ Текс. Из графиков видно, что при использовании клеящего вещества прочность продукта прядения возрастает при увеличении его линейной плотности. При этом наблюдается рост разрывной нагрузки продукта прядения с увеличением концентрации используемого клеювого раствора. Заметим, что при использовании серицина 6%-ной концентрации, ПВА 3%-ной концентрации, ПВС 2%-ной концентрации величина прочности продукта прядения принимает значения одного порядка, что свидетельствует о положительном результате применения экологичного серицина в качестве связующего с целью упрочнения льняной пряжи.

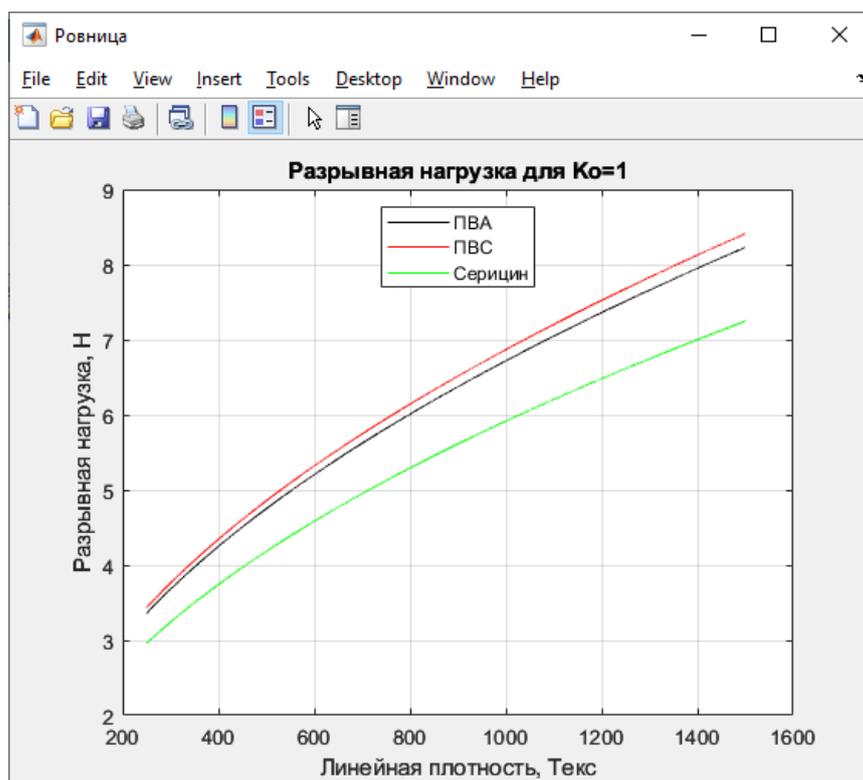


Рис.53 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 1%.

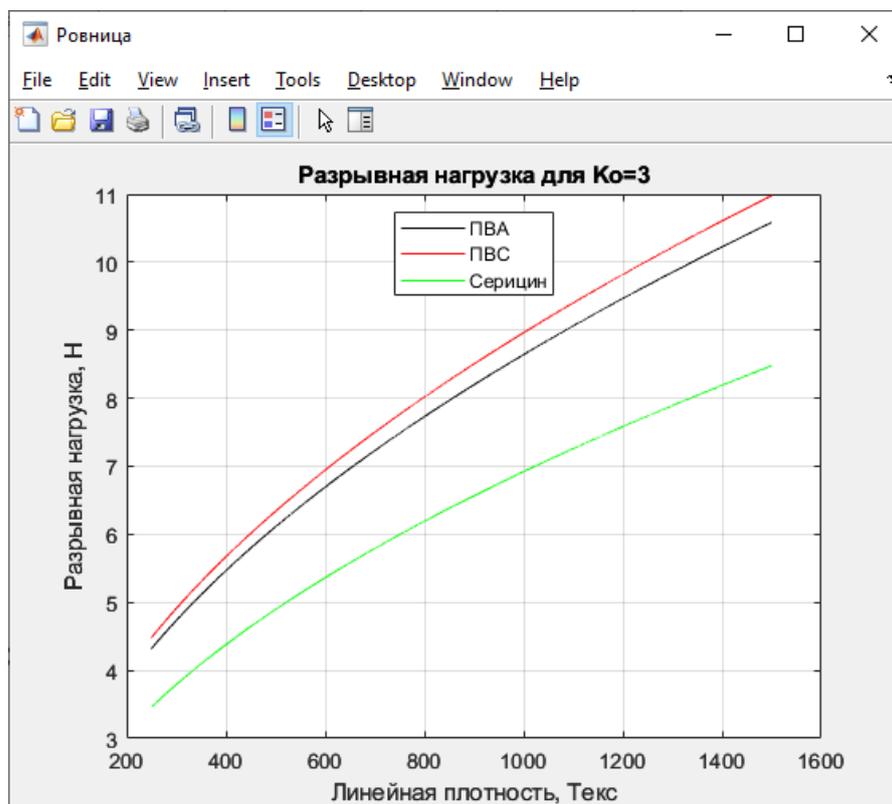


Рис.54 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 3%.

Из рисунков 53 – 54 видно, что при 3%-ной концентрации клеевого раствора разрывная нагрузка при использовании ПВА почти в 1,5 раза, а при использовании ПВС почти в 2 раз выше, чем при применении серицина. Стоит отметить, что прочность при использовании ПВС с увеличением линейной плотности продукта прядения возрастает в 1,5–2 раза быстрее, чем при использовании ПВА и серицина.

На рисунках 55-57 представлены графики зависимости разрывной нагрузки от средней длины волокна, входящего в состав продукта прядения, при использовании различных клеевых составов в концентрациях 1%, 3% и 6% при начальных параметрах: диаметр волокна 0,03 мм, $P = 4,8$ мм, количество волокон $n = 140$ штук, плотность волокна $\rho = 0,5$ мг/мм³, средняя длина волокна $l_a = 120 - 220$ мм, линейная плотность $T = 250$ Текс.

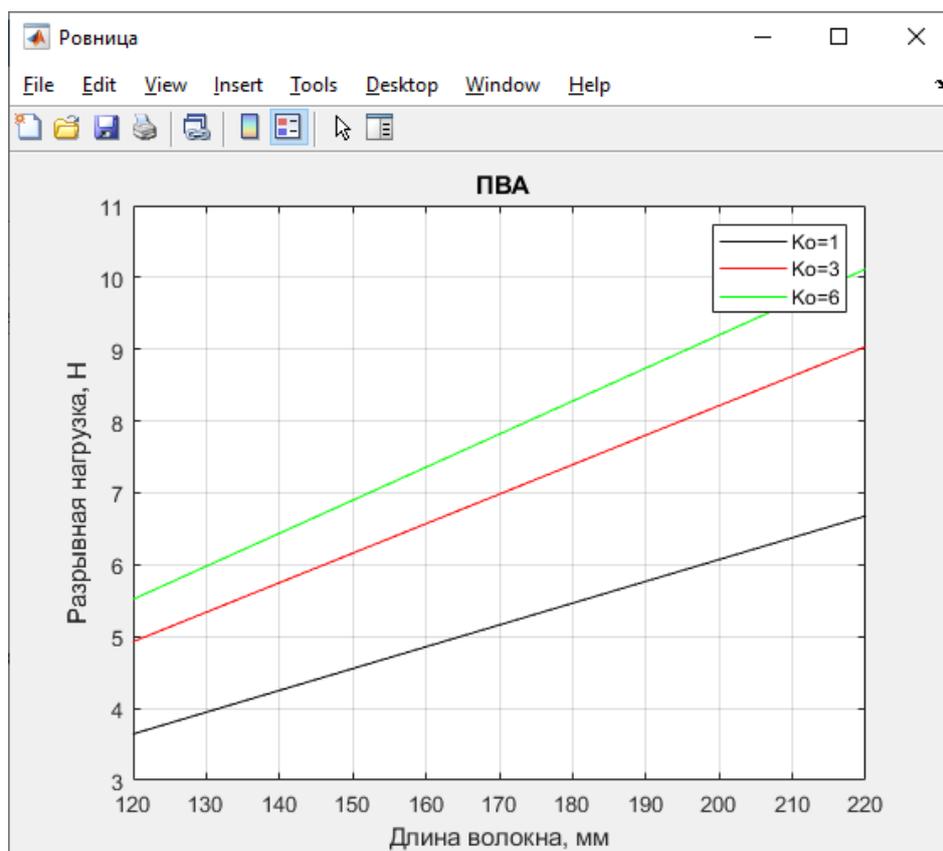


Рис.55 График разрывной нагрузки при использовании ПВА в концентрациях 1%, 3%, 6%.

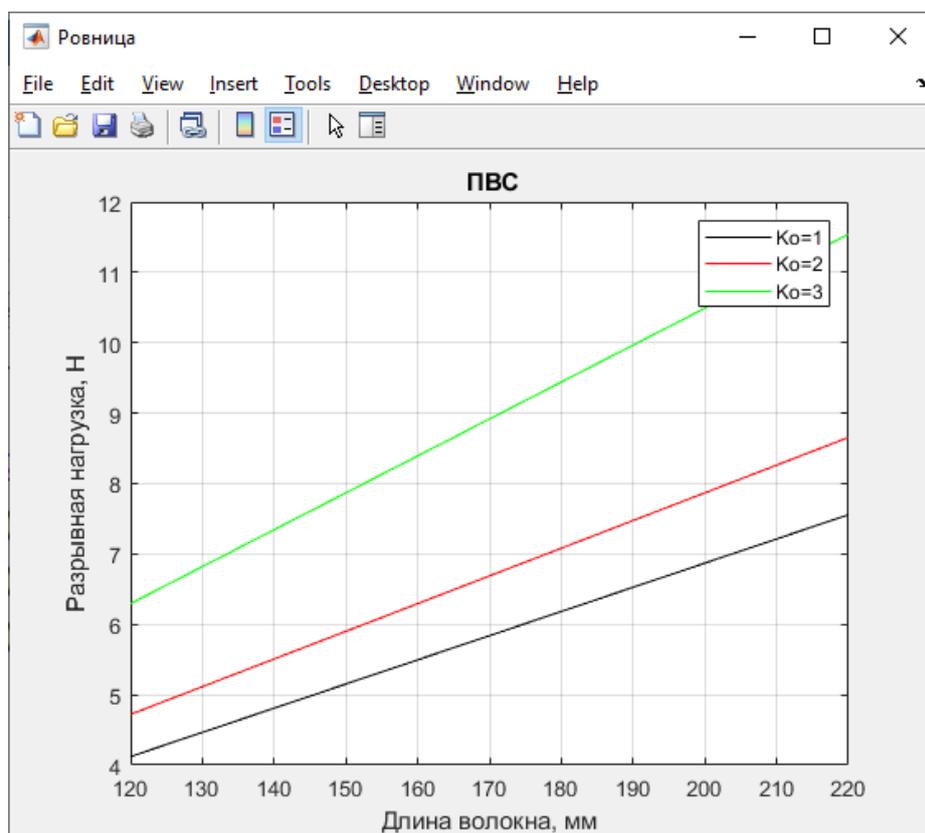


Рис.56 График разрывной нагрузки при использовании ПВС в концентрациях 1%, 2%, 3%.

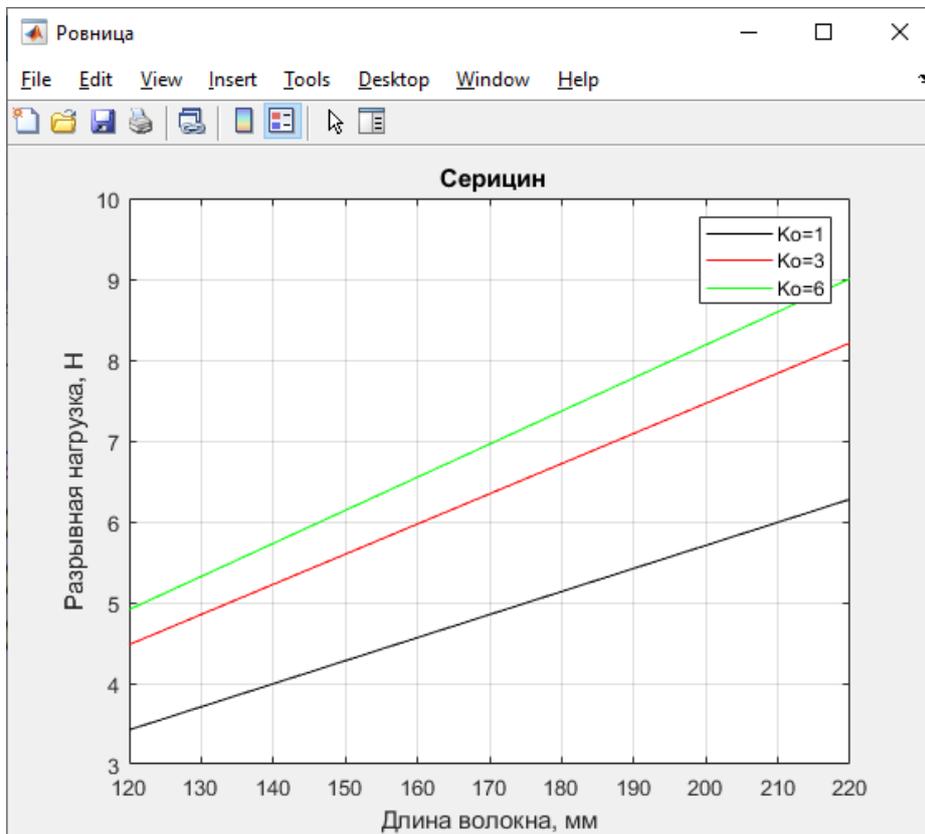


Рис.57 График разрывной нагрузки при использовании серицина в концентрациях 1%, 3%, 6%.

Анализируя полученные графики, можно сказать, что, чем больше средняя длина волокна, входящего в состав продукта прядения, тем он прочнее. Повышение концентрации используемого клеевого состава также приводит к увеличению разрывной нагрузки продукта прядения. При использовании 1%-ного раствора ПВА и 3%-ного раствора серицина значения разрывной нагрузки достаточно близки, что также свидетельствует о конкурентоспособности серицина при использовании его при производстве льняной клеевой пряжи.

На рисунках 58-59 представлены графики разрывной нагрузки продукта прядения при использовании рассматриваемых клеевых растворов в концентрациях 1% и 3%.

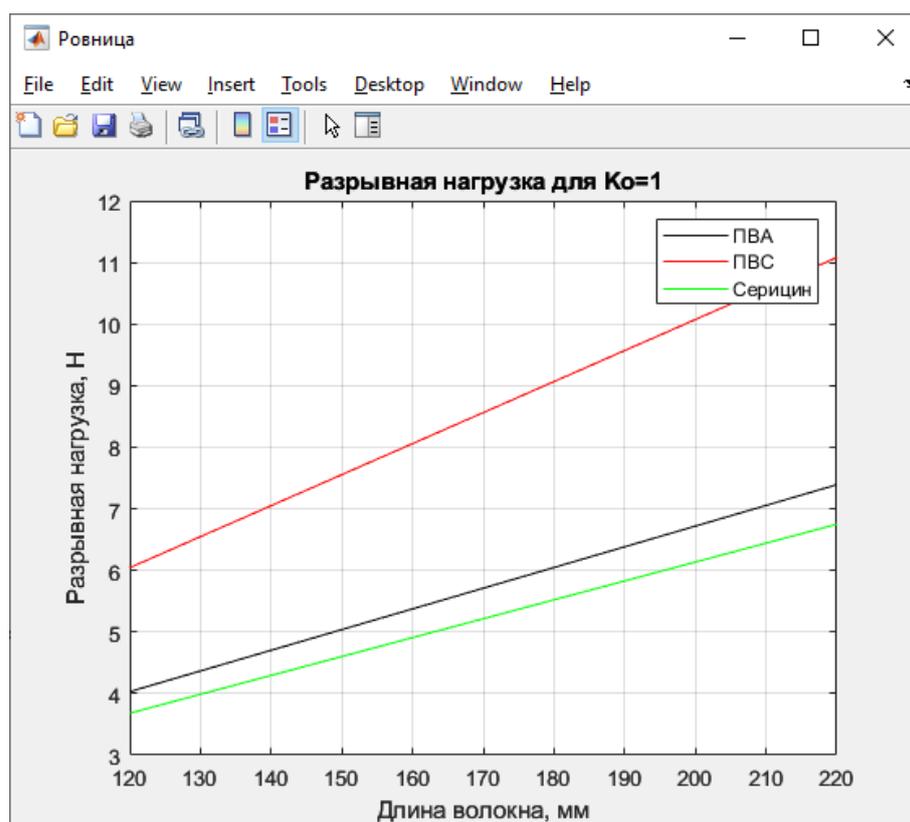


Рис.58 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 1%.

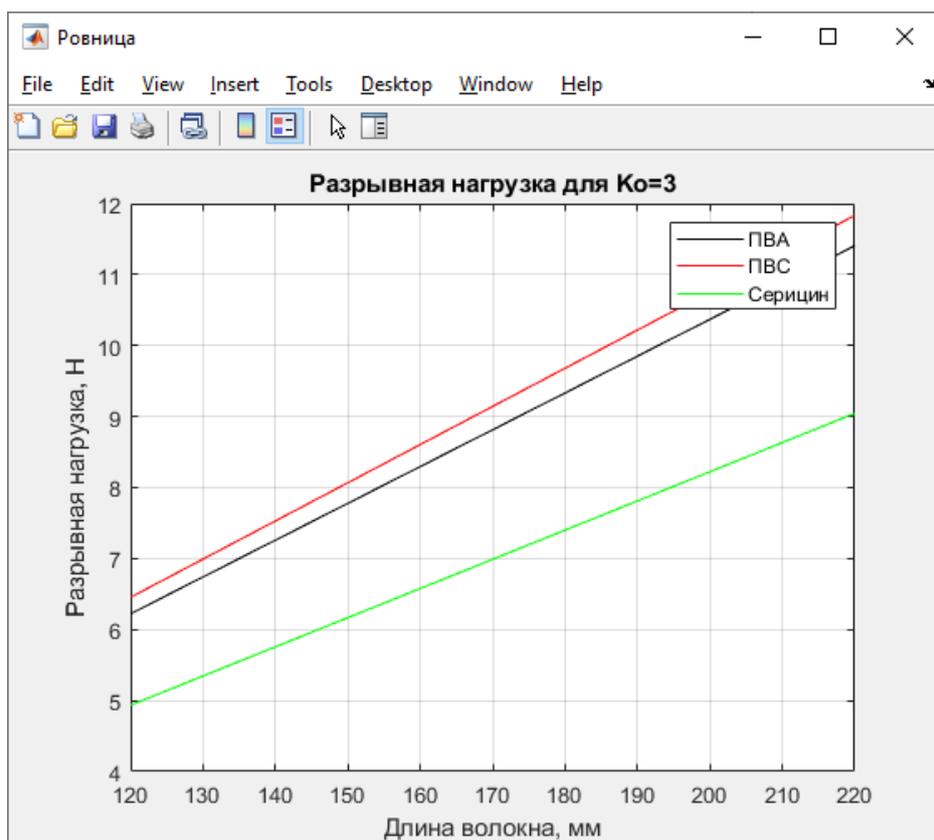


Рис.59 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 3%.

Как видно из представленных графиков, при одинаковых концентрациях рост разрывной нагрузки при применении в качестве связующего раствора ПВС происходит быстрее, чем при использовании растворов ПВА и серицина. При применении ПВА и серицина с увеличением средней длины волокна наблюдается постепенное повышение прочности продукта прядения. При 1%-ной концентрации клеевых растворов разрывная нагрузка при использовании ПВС почти в 3 раза выше, чем при использовании серицина, в 2 раза выше, чем при использовании ПВА. С увеличением концентрации связующего до 3% и средней длины волокна до 220 мм эти показатели увеличиваются примерно в 1,5 раза соответственно.

Сравнивая графики зависимостей разрывной нагрузки, представленные на рисунках 54-55 и 58-59, можно сделать вывод, что при увеличении средней длины волокна повышение прочности продукта происходит быстрее, чем при увеличении его линейной плотности. При этом значения разрывной нагрузки в первом случае выше, чем во втором. Значит, прочность продукта

прядения в большей степени зависит от средней длины волокна, входящего в его состав.

На рисунках 60 – 64 представлены графики зависимости разрывной нагрузки от диаметра волокна, входящего в состав продукта прядения, при диаметре волокна 0,05–0,11 мм, $P = 4,8$ мм, количество волокон $n = 140$ штук, плотность волокна $\rho = 0,5$ мг/мм³, средняя длина волокна $l_a = 150$ мм, линейная плотность $T = 250$ Текс.

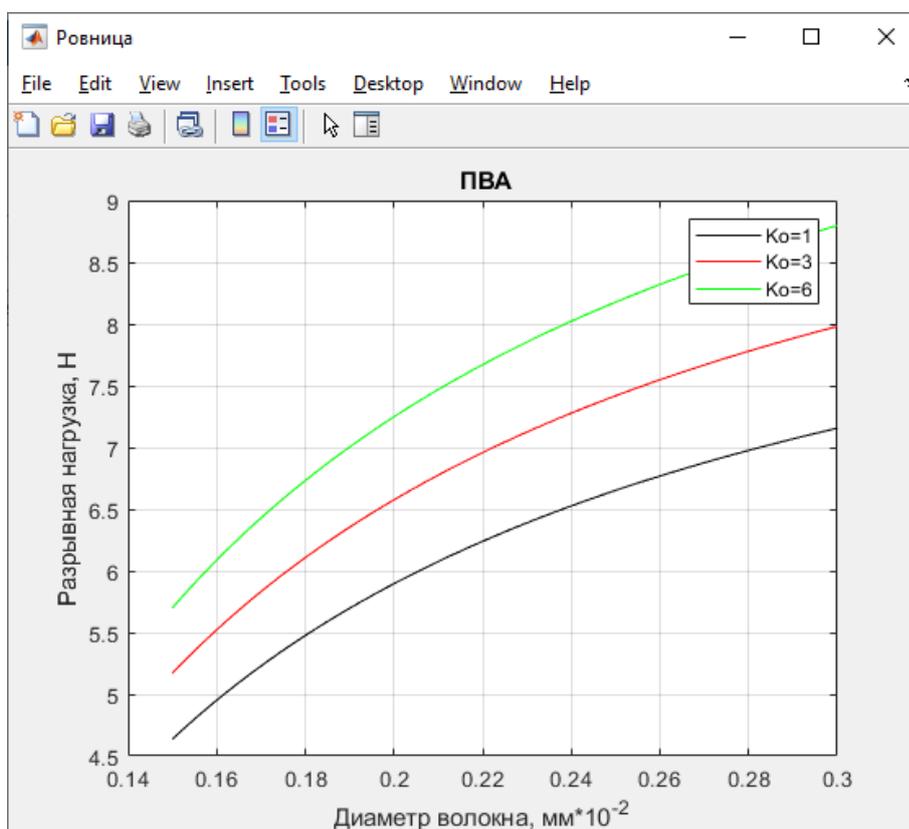


Рис.60 График разрывной нагрузки при использовании ПВА в концентрациях 1%, 3%, 6%.

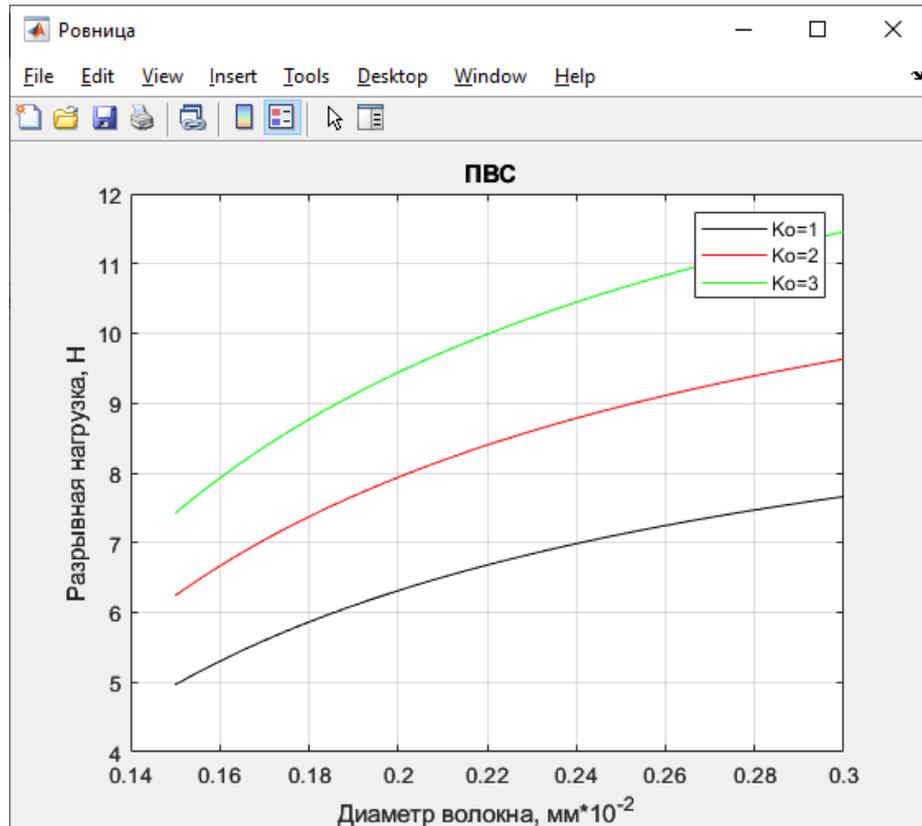


Рис.61 График разрывной нагрузки при использовании ПВС в концентрациях 1%, 2%, 3%.

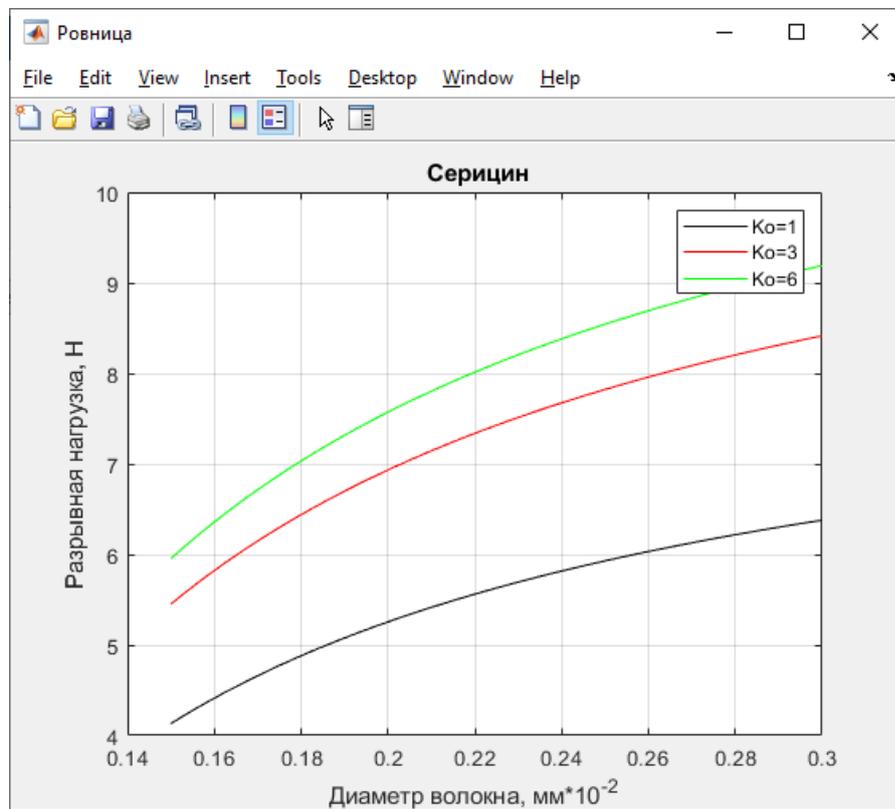


Рис.62 График разрывной нагрузки при использовании серицина в концентрациях 1%, 3%, 6%.

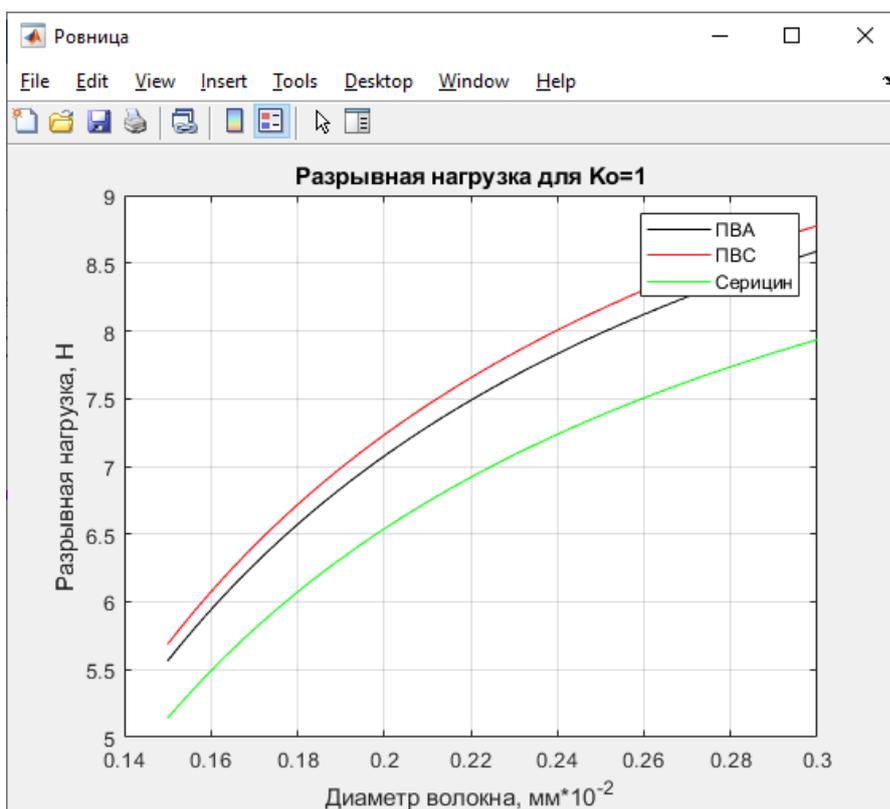


Рис. 63 График разрывной нагрузки ровницы при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 1%.

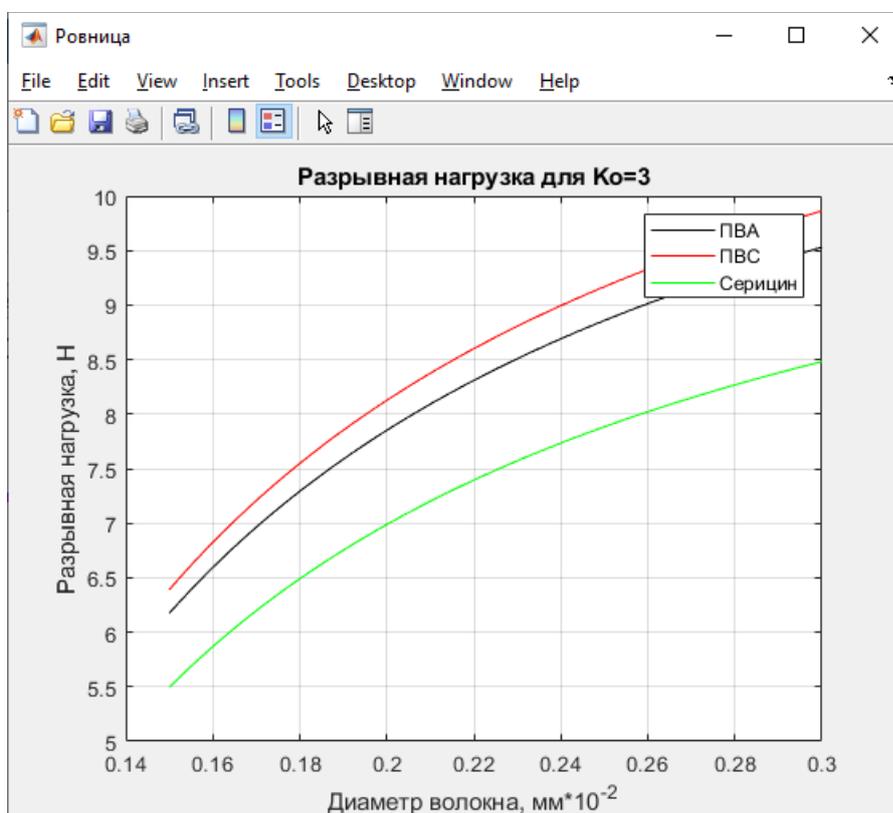


Рис. 64 График разрывной нагрузки ровницы при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 3%.

Как можно заметить, при увеличении диаметра волокна наблюдается постепенный рост разрывной нагрузки. Для всех используемых клеевых составов при увеличении диаметра волокна в 2 раза разрывная нагрузка возрастает менее, чем в 1,5 раза. При одинаковых концентрациях клеевых растворов значения разрывной нагрузки при использовании ПВС выше, чем при использовании ПВА, в 1,5–2 раза выше, чем при использовании серицина. Применение в качестве связующего серицина 6%-ной концентрации и ПВА в концентрации до 3% позволяет достичь значений разрывной нагрузки одного порядка.

На рисунках 65–69 представлены зависимости разрывной нагрузки пряжи от линейной плотности при диаметре волокна 0,03 мм, $P = 2,4$ мм, количество волокон $n = 25$ штук, плотность волокна $\rho = 0,5$ мг/мм³, средняя длина волокна $l_a = 30$ мм, линейная плотность $T = 64 - 200$ Текс.

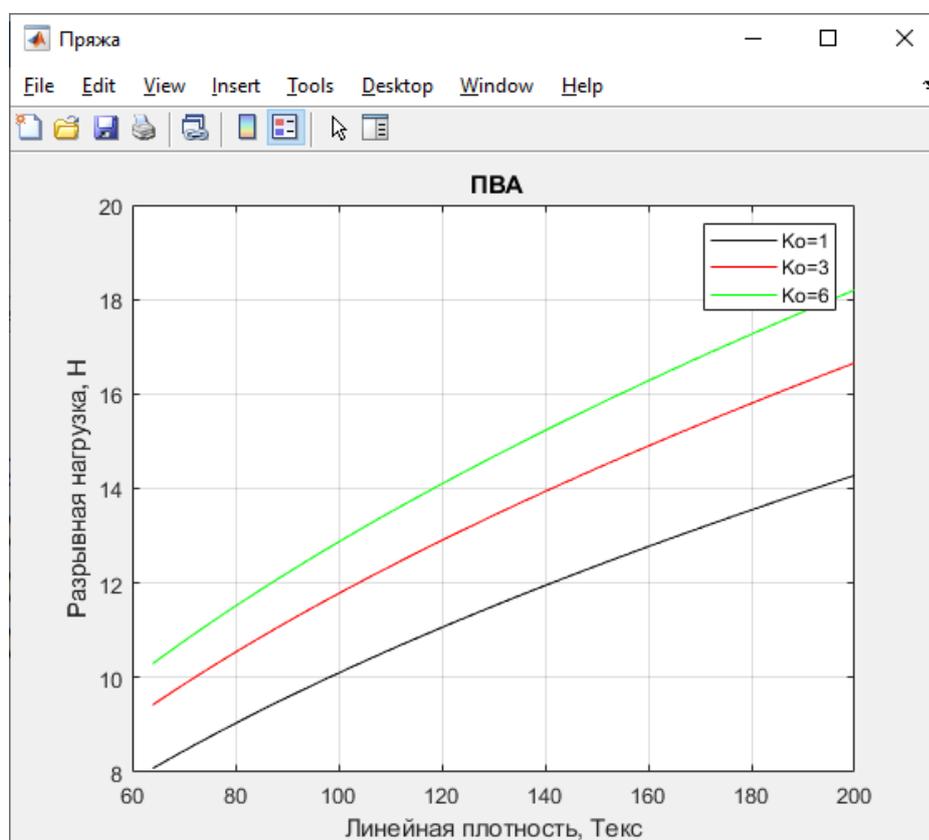


Рис.65 График разрывной нагрузки при использовании ПВА в концентрациях 1%, 3%, 6%.

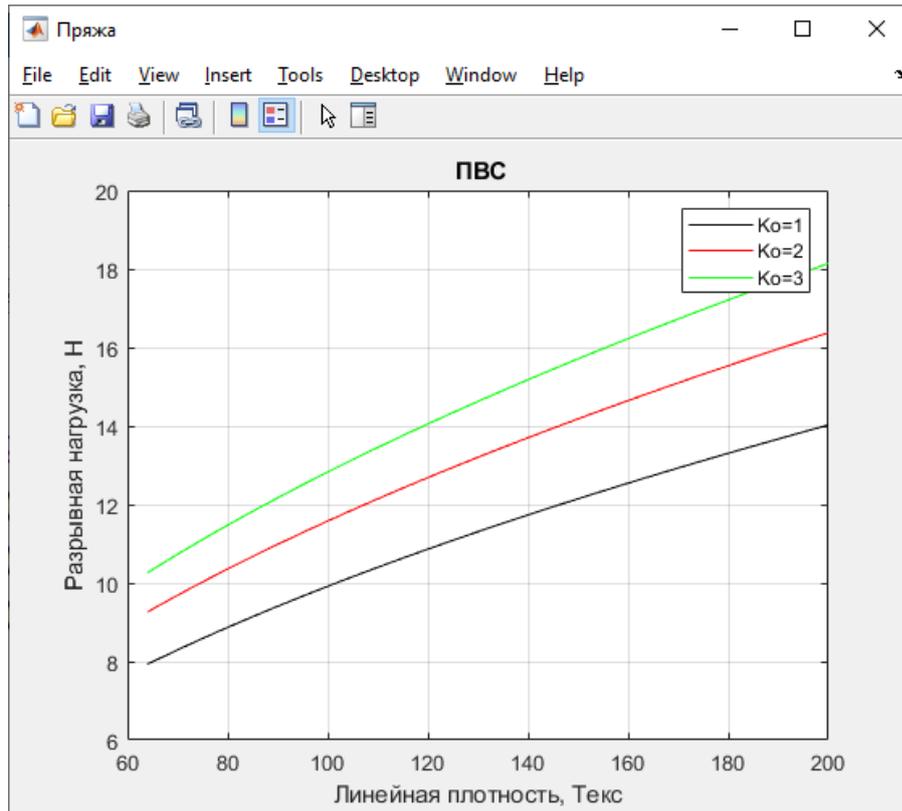


Рис.66 График разрывной нагрузки при использовании ПВС в концентрациях 1%, 2%, 3%.

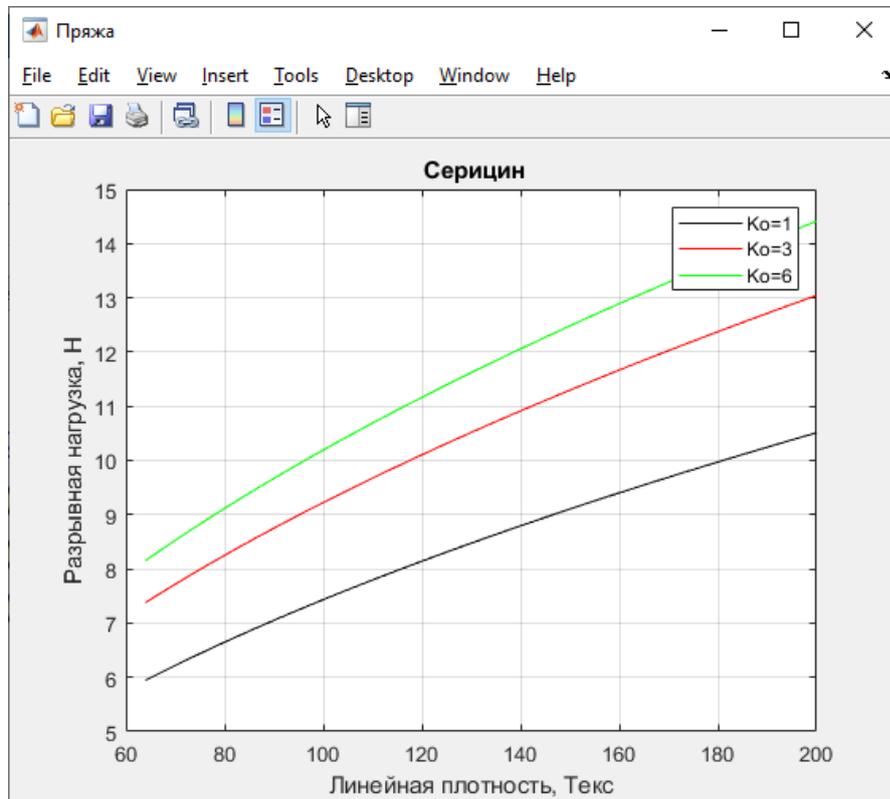


Рис.67 График разрывной нагрузки при использовании серицина в концентрациях 1%, 3%, 6%.

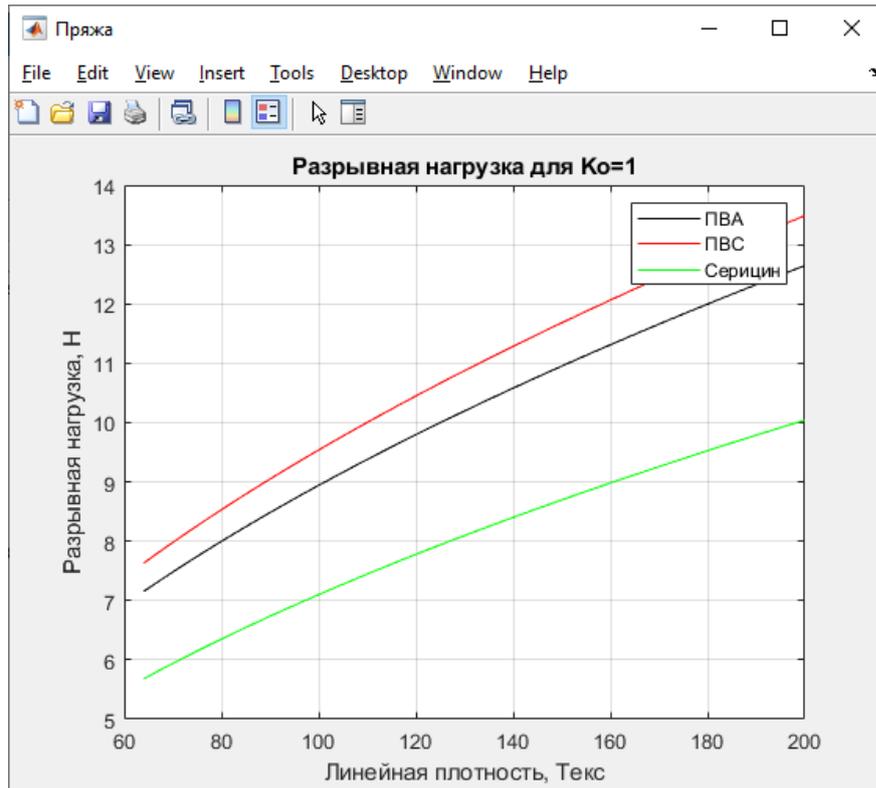


Рис. 68 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 1%.

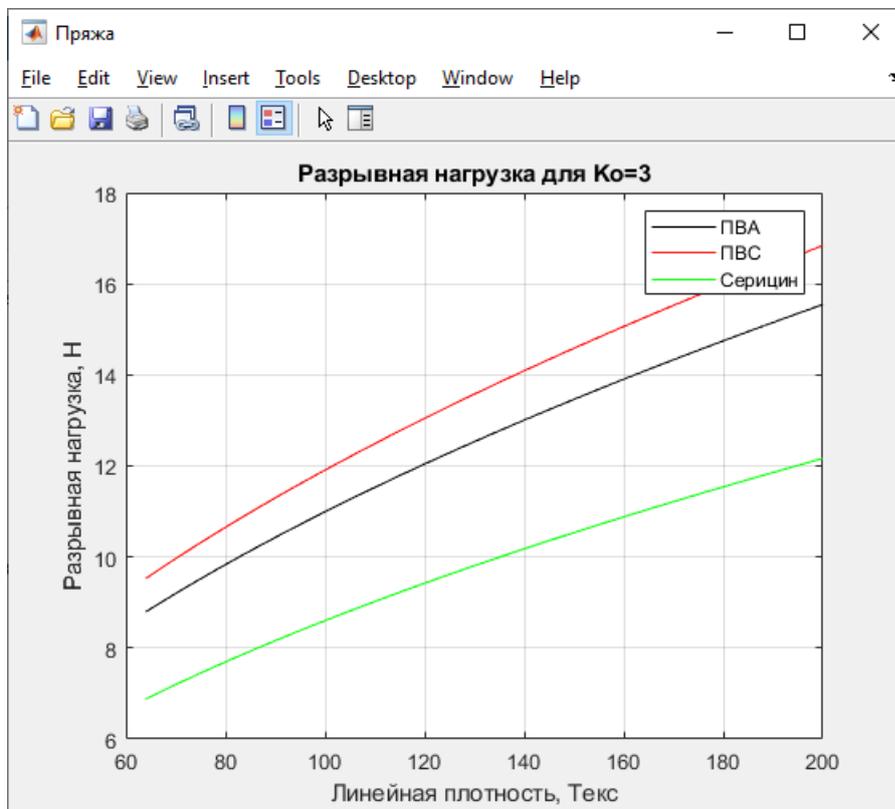


Рис. 69 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 3%.

Из рисунков 65–69 можно заметить рост разрывной нагрузки с увеличением линейной плотности пряжи. При этом более быстрый рост значений разрывной нагрузки наблюдается при применении растворов ПВС.

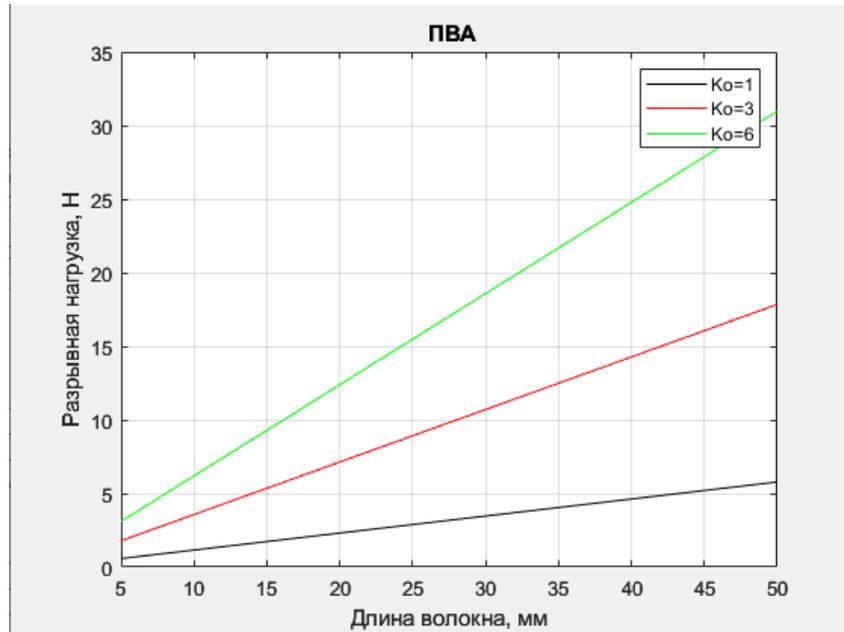


Рис.70 График разрывной нагрузки при использовании ПВА в концентрациях 1%, 3%, 6%.

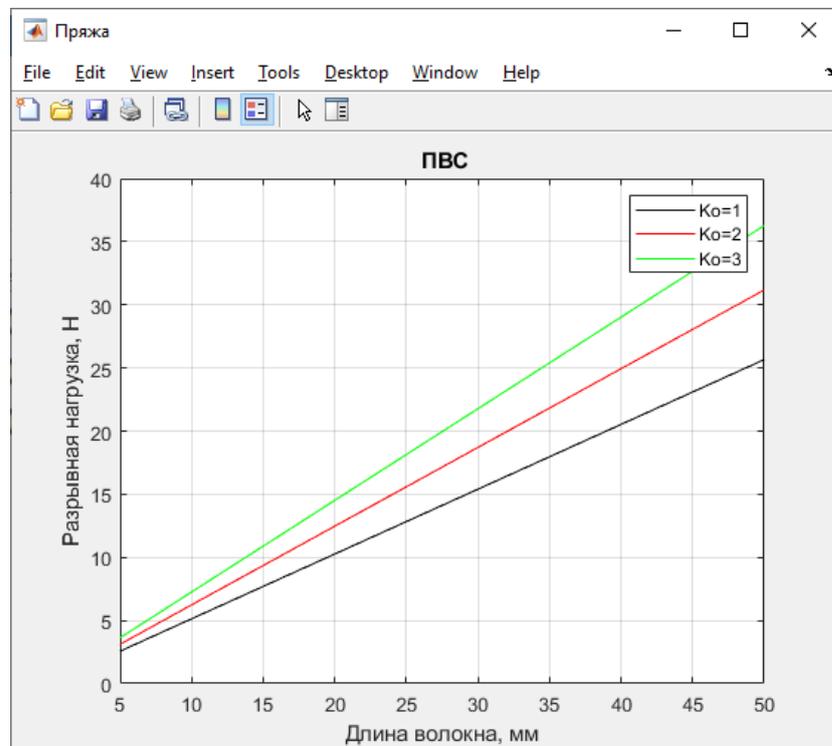


Рис.71 График разрывной нагрузки при использовании ПВС в концентрациях 1%, 2%, 3%.

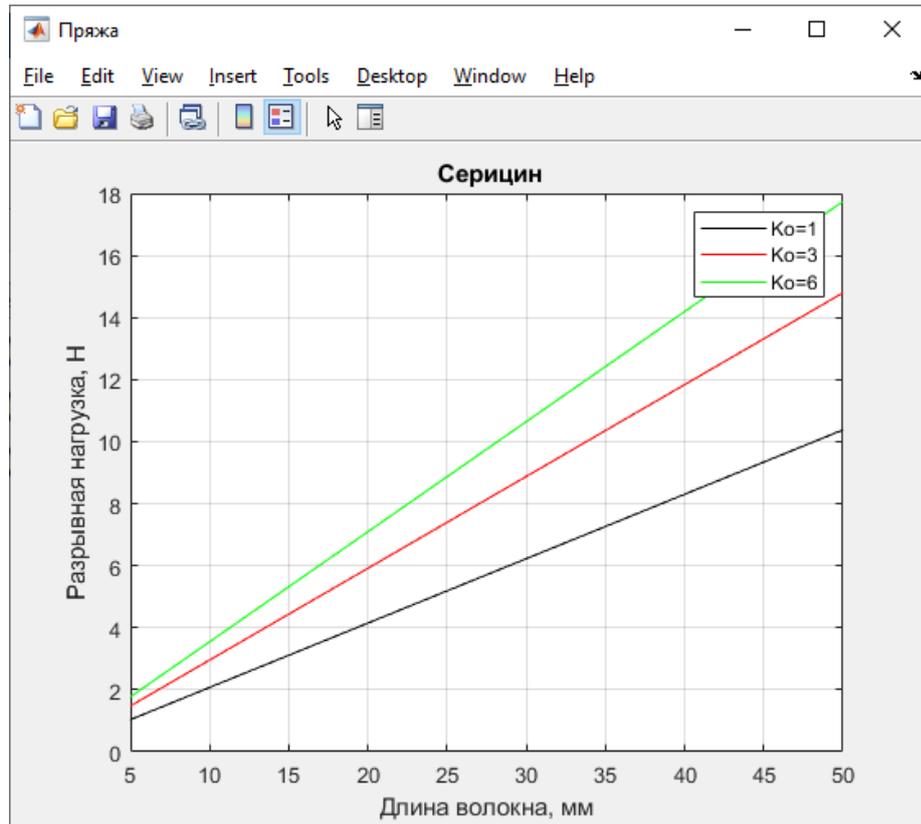


Рис.72 График разрывной нагрузки при использовании серицина в концентрациях 1%, 3%, 6%.

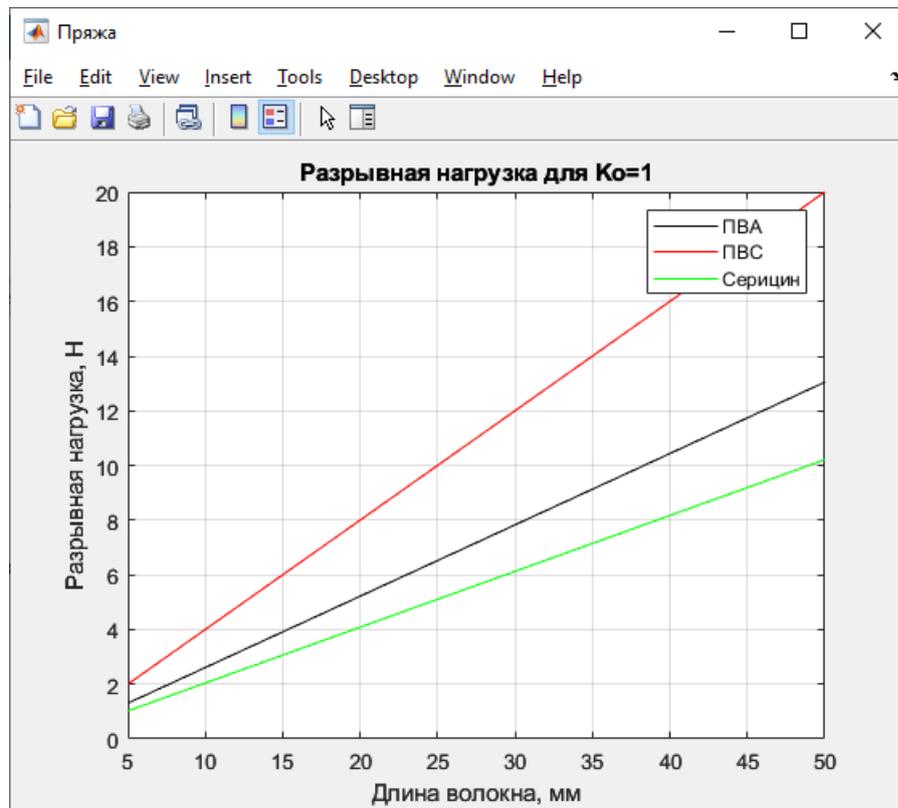


Рис. 73 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 1%.

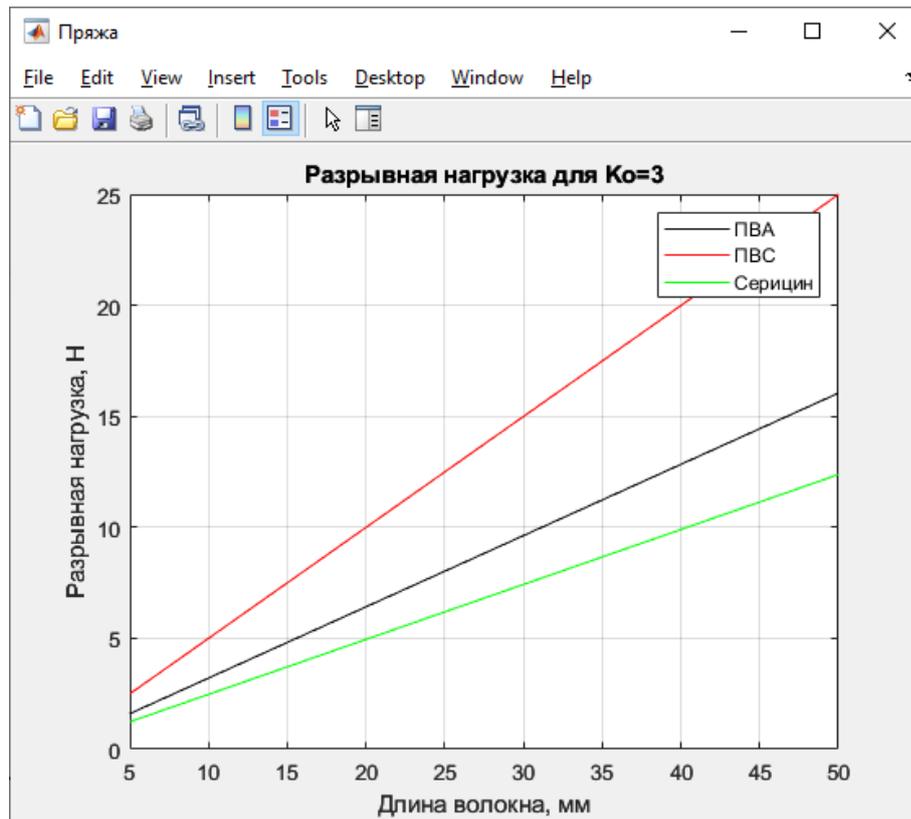


Рис. 74 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 3%.

На рисунках 70–74 представлены зависимости разрывной нагрузки пряжи линейной плотности $T = 65$ Текс от средней длины волокна $l_a = 5–50$ мм. Анализ рисунков показал, что увеличение средней длины волокна влечет за собой достаточно быстрый рост разрывной нагрузки. Так при применении ПВА с увеличением средней длины волокна до 50 мм, увеличив концентрацию клевого раствора, можно повысить значения разрывной нагрузки почти в 5 раз.

На рисунках 75–79 изображены графики зависимостей разрывной нагрузки пряжи от диаметра волокна в диапазоне 0,015–0,03 мм при $T = 65$ Текс и средней длине волокна $l_a = 30$ мм.

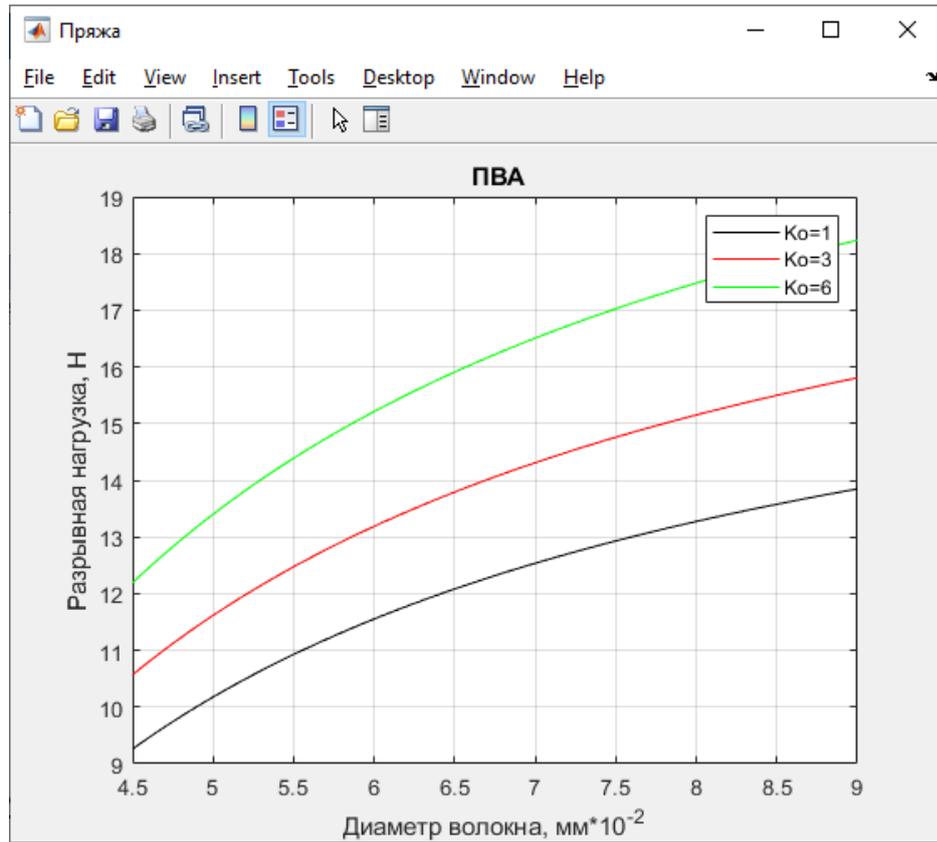


Рис.75 График разрывной нагрузки при использовании ПВА в концентрациях 1%, 3%, 6%.

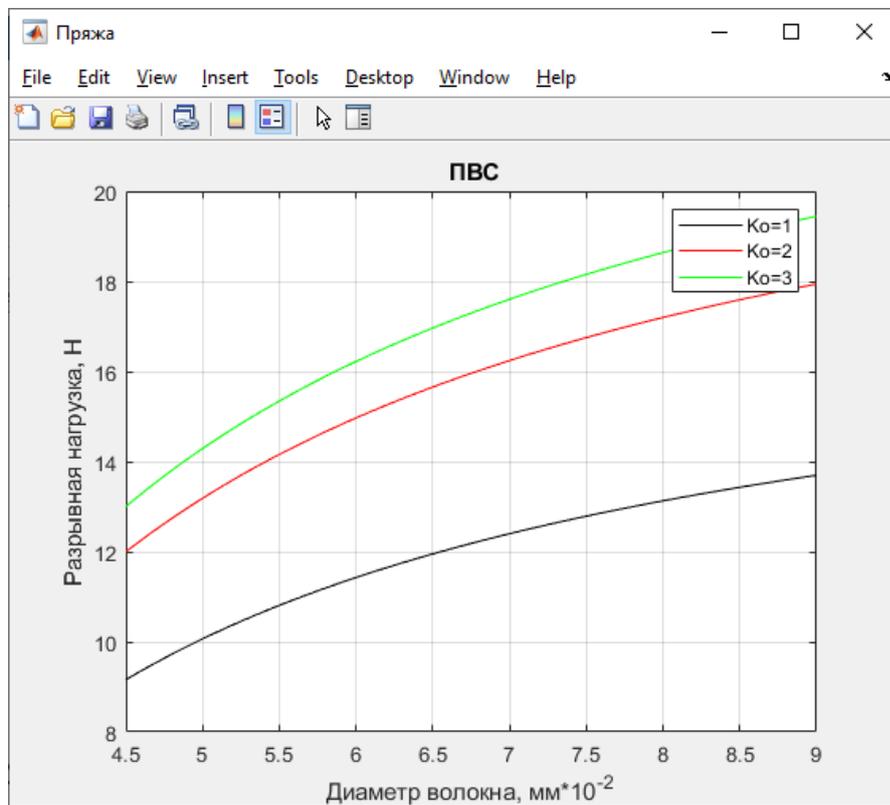


Рис.76 График разрывной нагрузки при использовании ПВС в концентрациях 1%, 2%, 3%.

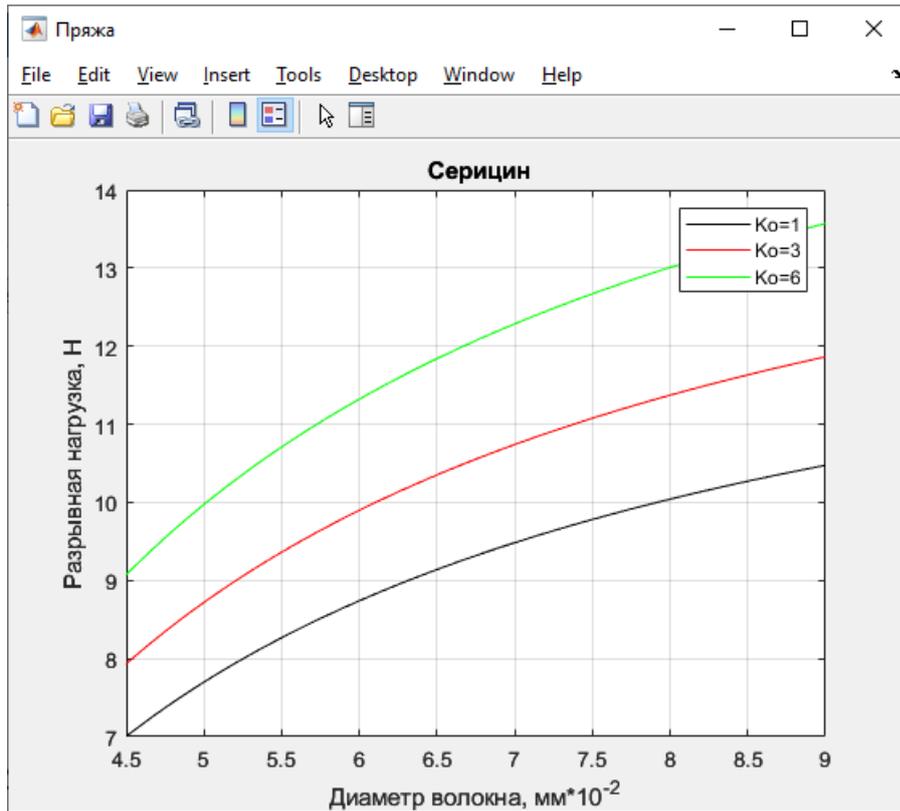


Рис.77 График разрывной нагрузки при использовании серицина в концентрациях 1%, 3%, 6%.

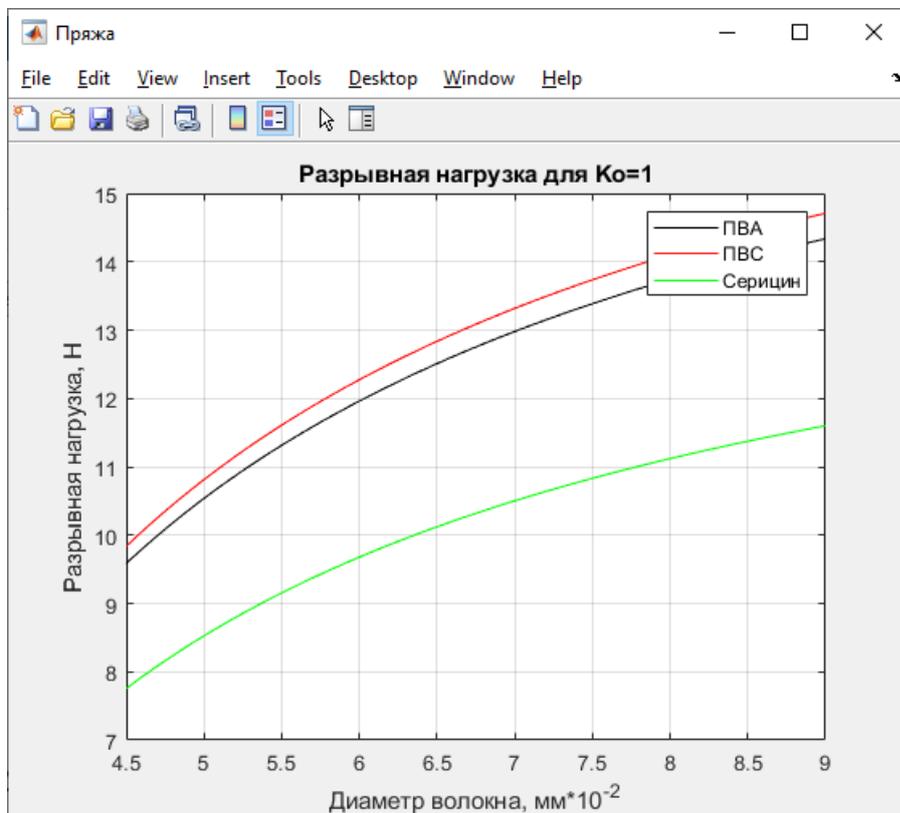


Рис. 78 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 1%.

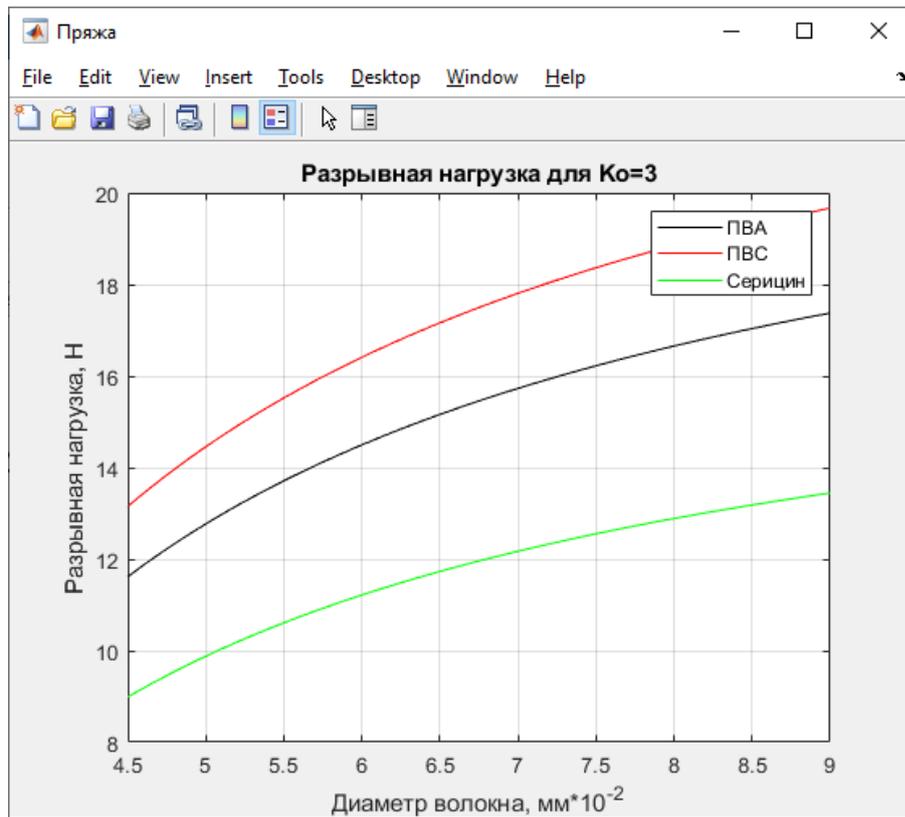


Рис. 79 График разрывной нагрузки при использовании серицина, ПВА и ПВС в концентрации 3%.

Как видно из рисунков 75–79 увеличение диаметра волокна ведет к постепенному росту значений разрывной нагрузки. При различных концентрациях клеевых растворов увеличение диаметра волокна в 2 раза позволяет достичь увеличения значений разрывной нагрузки на 40%.

Таким образом, анализ представленных моделей показал, что клеевые методы упрочнения продукта прядения приводят к положительным результатам. Увеличение концентрации клеевого раствора ведет к увеличению значений разрывной нагрузки. Кроме того, стоит отметить, что средняя длина волокна, входящего в состав продукта прядения, оказывает значительное влияние на его разрывную нагрузку. Увеличение разрывной нагрузки происходит пропорционально увеличению средней длины волокна.

Предложенная математическая модель прочности клеевого продукта прядения является детерминированной. Величины, используемые для построения модели, имеют свои законы распределения. Это дает

возможность построения имитационной модели прочности продукта прядения, полученного клеевым способом.

4.7 Имитационно-статистическая модель прочности клеевого продукта прядения

Для прогнозирования прочности продукта прядения, полученного клеевым способом, была создана имитационная модель. В отличие от модели, предложенной в пункте 4.6, исходные данные для вычисления разрывной нагрузки продукта прядения генерируются случайным образом согласно полученным законам распределения. Блок-схема имитационной модели представлена на рисунке 80.

На начальном этапе работы программы производится ввод значений входных параметров, а также выполняется запрос пользователю о виде и концентрации используемого клеевого раствора. Далее формируются массивы со случайными значениями исходных данных.

Для генерирования значений входных параметров модели были приняты следующие исходные данные: линейная плотность продукта прядения 64–200 Текс, линейная плотность волокна – 0,125–0,557 Текс, плотность вещества волокна 0,5 мг/мм³. Для моделирования значений длины волокна был задан экспериментальный закон распределения [91].

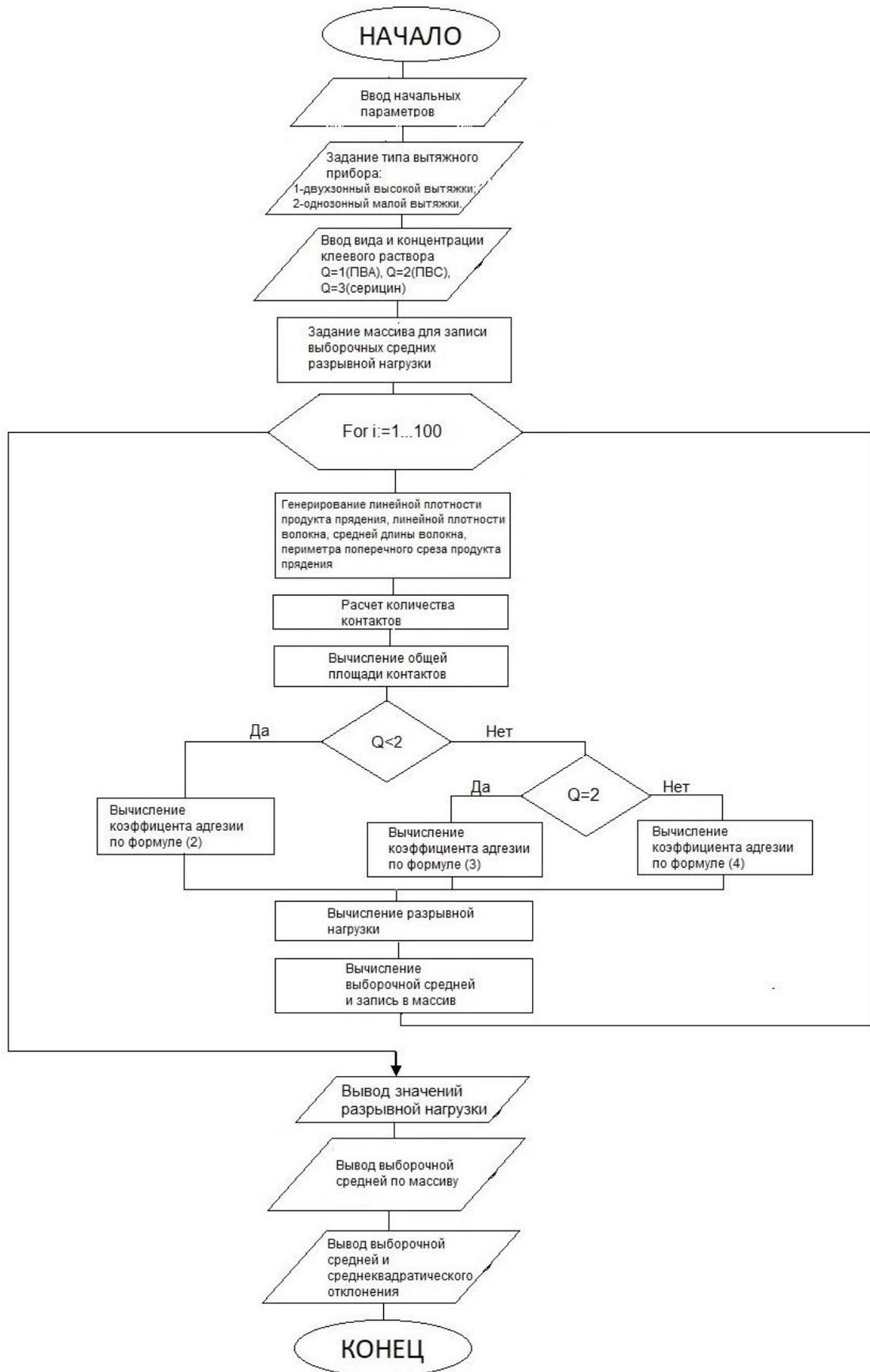


Рис. 80 Блок-схема имитационной модели прочности клевого продукта прядения

Сгенерировав 100 испытаний, было найдено среднее значение разрывной нагрузки продукта прядения (Н). Данная процедура повторилась 10 раз. Таким образом, было получено 10 средних значений разрывной нагрузки, по которым было найдено значение выборочной средней, а также значение среднеквадратического отклонения. В таблице 20 приведены выборочные средние значения разрывной нагрузки, полученные в результате имитационного моделирования, а также коэффициент вариации.

Таблица 20

Значения разрывной нагрузки клеевой пряжи линейной плотности 64 Текс в результате имитационного моделирования

| Клеевой раствор | Концентрация, % | Средняя разрывная нагрузка, Н | Экспериментальная разрывная нагрузка, Н | Дисперсия, Н ² | Коэффициент вариации, % |
|-----------------|-----------------|-------------------------------|---|---------------------------|-------------------------|
| ПВА | 3 | 10,36 | 9,15 | 3,2 | 17,2 |
| ПВС | 3 | 10,89 | 9,68 | 3,4 | 16,8 |
| Серицин | 6 | 9,77 | 8,57 | 3,1 | 17,9 |

Анализируя данные, полученные в результате имитационного моделирования, можно сделать вывод об адекватности созданной модели прочности клеевого продукта прядения. Об этом свидетельствует результат проверки точности моделирования путем оценки сравнения расчетных и фактических значений прочности продукта прядения с помощью критерия Фишера [92]. Было получено расчетное значение критерия Фишера $F_{расч} = 5,1$. При уровне значимости 0,05 критическое значение $F_{кр} = 9,28$. Так как $F_{расч} < F_{кр}$, полученную модель можно считать адекватной с 95%-ной доверительной вероятностью.

Выводы по главе 4

1. Установлено, что волокна в сечении клеевых продуктов прядения вплотную прилегают друг к другу, что не позволяет непосредственно по фотографии среза волокна установить количество контактов между волокнами.

2. Получена зависимость числа контактов между волокнами в сечении продукта прядения, периметром и площадью области непрерывно заполненной волокнами.
3. Разработана детерминированная математическая модель, позволившая установить степень и направления влияния технологических параметров волокна и процесса на удельную разрывную нагрузку пряжи и ровницы, формируемых совмещенным вьюрково-клеевым способом.
4. Разработана имитационно-статистическая математическая модель, позволяющая прогнозировать удельную разрывную нагрузку пряжи и ровницы, формируемых совмещенным вьюрково-клеевым способом

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ работ в области инновационных способов формирования пряжи показал, что при клеевом формировании пряжи требуются значительные затраты энергии на сушку пряжи, а также специальный технологический переход для удаления клея из готовой ткани. При вьюрковом формировании пряжи имеет недостаточную для использования в ткачестве прочность. Установлено, что совмещение этих двух способов одновременно с применением экологически чистых клеевых составов позволит устранить указанные недостатки.

2. Показано, что машина МПБ-1, предназначенная для формирования пряжи вьюрковым способом, позволяет обеспечить дополнительную обработку ровницы клеевым составом с целью упрочнения вырабатываемой пряжи и варьирование технологических параметров для экспериментального обоснования их уровней.

3. Эксперименты по выбору рациональных режимов формирования пряжи позволили рекомендовать для промышленного использования клеевые составы на основе ПВА и серицина в концентрациях 3% и 6% соответственно. Установлено, что за время (не менее 30 мин) сматывания наружного слоя ровницы с паковки полностью погруженной в клеевой раствор, достигается требуемый уровень пропитки ровницы.

4. В результате проведенного исследования показано, что комбинированный вьюрково-клеевой способ прядения позволяет получать пряжу первого сорта класса ОЛ.

5. Разработаны рекомендации по использованию серицина в качестве клеящего состава при производстве пряжи комбинированным способом, принятые Узбекским НИИ натуральных волокон (г. Маргилан) для разработки рекомендаций по использованию серицина на производстве.

6. Получены законы распределения волокон в поперечном сечении продукта, позволяющие обоснованно подойти к прогнозированию прочности

пряжи, получаемой клеевым способом, или к упрочнению продуктов прядения, полученных другими способами, за счет дополнительного клеевого упрочнения.

7. Получена зависимость между числом контактов между волокнами и геометрическими параметрами (периметром и площадью) области, непрерывно заполненной волокнами.

8. Получена имитационно-статистическая математическая модель, позволяющая прогнозировать степень упрочнения продукта прядения в зависимости от геометрических параметров волокон, их прочности, вида и концентрации клеящего состава.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Рынок льняных тканей 2017–2022 гг. с прогнозом до 2035г.» <https://expertcc.ru/projects/proizvodstvo/marketingovoe-issledovanie-rossiyskogo-rynka-lnyanykh-tkaney>.
2. «Стратегия развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года» <http://souzlegprom.ru/ru/dokumenty/strategiya-razvitiya-otrasli.html>.
3. Государственная программа Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Утверждена постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 328 (в редакции постановления Правительства РФ от 12 ноября 2021 г. № 1933).
4. Ерлыгина Е.Г., Капустина Н.В., Фоменко Н.М. Современное состояние и перспективы развития текстильной промышленности. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. №3 (369). С. 64-67.
5. Прядение льна: учебник / И.Ф. Смельская, Л.С. Ильин, В.И. Жуков, В.Н. Кротов. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2007. – 544 с.
6. Смирнова С.Г. Влияние технологических режимов формирования бескруточной ровницы на ее способность к переработке в прядении: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2010. – 144 с.
7. Телицын А.А. Развитие технологий процесса самокручения текстильных материалов и создание оборудования для их реализации: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома, 2000. – 311 с.
8. Палочкин С.В. Разработка технологии формирования и переработки некручёной обвитой льняной ровницы: Дис. ... докт. техн. наук. – Москва, 2002. – 309 с.

9. Ямщиков А.В. Разработка технологии и устройств для формирования мокрой некрученной ровницы из льна: Дисс. ... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2003.
10. Скуланова Н.С., Полякова Т.И., Голайдо С.А., Сучков В.Г., Короткова А.И. Аналитический подход к проектированию льняной пряжи по прочности. Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). Сборник материалов Международной научно-технической конференции. 2020. С. 80-84.
11. Короткова А.И., Полякова Т.И. Расчет прочности крученной льняной пряжи. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2022. № 1. С. 206-208.
12. Кириллова Е.С. Совершенствование технологии получения переработки мокрой бескруточной ровницы из льна: Дисс. ... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2008.
13. Кузнецова Н.С. Технологии производства льняной и оческовой вьюрковой пряжи мокрым способом // Технологии и качество. – 2017, №1 (37). С.8-12.
14. Отчет о проведении испытаний прядильной пневмовьюрковой машины БПМ-200-Л. – Кострома : КНИИЛП, 1986.
15. Бородина Н.С. Разработка основных разделов бизнес-плана прядильной фабрики. – Кострома: КГТУ, 2008.
16. Кузнецова Н.С., Бородина Н.С., Абросимов А.В. Эффективность высокоскоростного способа получения льняной пряжи мокрого прядения // Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. КГТУ: "Лен-2010". – 2010. С.35.
17. Кузнецова Н.С., Шутова А.Г., Жуков В.И. Эффективность вьюркового способа получения льняной пряжи мокрого прядения. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4 (376). С. 68–73.

18. Кузнецова Н.С. Развитие высокопроизводительной технологии получения льняной пряжи мокрого прядения для трикотажного производства: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома, 2019. – 323 с.
19. Рудовский П.Н., Белова И.С. Анализ и перспективы клеевых способов формирования пряжи. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2019. № 1-1. С. 186-189.
20. Rydnicár Juri, Stratil František. Nektere neortodoxni technologie predeni prizi vhodné pro vlnarsky prunysl. Textil (Чехия) 1977, 32, №8.
21. Nuovi sviluppi nella filatura senza torsione. Selz. tess. 1981, 21, №6, с.27-32.
22. Motte René. Filature par collage. Ind. text. (Франция) 1979, №1095.
23. Палочкин С.В. Технология формирования и переработки некрученой обвитой льняной ровницы.- М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2002. – 212 с.
24. Патент США, кл. 57–153 / Д 02 G 3/40/№4038813. Прядение некрученой нити мокрым вытягиванием.
25. Salaun H.L., Brown R.S., Lonis G.L. No-twist cotton yarn made from card web. Text Res. J. 1980, 50, №2.
26. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) :Учебник для вузов / Г.Н. Кукин – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 348 с.
27. Мосешвили, Т.В. Бескруточные способы прядения : учеб. пособие / Т. В. Мосешвили, А. Г. Севостьянов; Моск. текстил. ин-т им. А. Н. Косыгина.– М. : МТИ, 1987. – 38 с.
28. Миловидов Н. Н. Технология и оборудование хлопкопрядильного производства / Н.Н. Миловидов, А. К. Киселев, К. И. Бадалов, П. П. Фаминский – М. : «Легкая индустрия», 1966. – 600 с.
29. Кулагина М.И. Новые способы прядения шерстяных и химических волокон. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 143 с.

30. Selling H. Twistless Yarns. – Watford: Herrow Publishing Co, Ltd, 1971
31. Получение бескруточной пряжи по способу Twilo//Текстильная промышленность за рубежом. – 1979, №34. С.40–50
32. Falschdrahtspinnen mit Binfefaserbeimidchung. Textil Praxis International. 1979, 34, №6.
33. Novi postupak predenja. Tekst. ind. 1976, 24, №8.
34. Twilo-Produktion von Nonspuns. Chemit-fasern/Textilindustrie. 1977, 27/29, №11.
35. Fills sanstorsion en coton. Nouvelles perspectives de développement. Ind. text. (Франция) 1982, №1121.
36. Daviidson Jon V. Yarn spinning has a new twist (less). Text. World. 1981, 131, №10.
37. Klein W. Neue Garnherstellungsverfahren. Melliand Textilberichte, 1977, 84, №9.
38. Klein W. Neue Garnherstellungsverfahren. Weberei- und Strikerei. 1977, 25, №6.
39. Wolf B. Filati a fiber dicontinue offenuti con procedimenti non tradizionali. прядения. Ind. Coton. 1981, 34, №3.
40. Павлов Г.Г. Аэродинамические основы безверетенных способов прядения / Г.Г. Павлов – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 167
41. Патент «Пневматическое прядильное устройство» Япония №3741017, №376827, США №4718225, №540825.
42. Рудовский П.Н., Белова И.С. Технология получения льняной пряжи путем совмещения вьюркового способа со способом PAVENA. Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование. Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ им. А.Н. Косыгина» на Международном

Косыгинском форуме – 2019 «Современные задачи инженерных наук». 2019. С. 194-196.

43. Берлин А.А., Басин В.Е., Основы адгезии полимеров, Изд. «Химия», Москва, 1969.

44. Белова И.С. Обоснование метода оценки адгезии волокнистых материалов к связующему при выработке пряжи клеевым способом./ И.С. Белова// Технологии и качество 2019, №4(46), С. 3–7.

45. Сафонов Г.П., Воробьев П.В., Булдаков А.В. Исследование адгезии и подвижности полиуретановых и эпоксидно-каучуковых клеев и адгезивов. Клеи. Герметики. Технологии. 2013. № 2. С. 21–26.

46. Вяхирева В.В., Третьякова Е.М. Сравнительная оценка адгезии клея и цементно-песчаного раствора с газобетоном. Успехи современной науки. 2017. Т. 4. № 1. С. 119–121.

47. Жандаров С.Ф., Писанова Е.В., Довгяло В.А. Измерение адгезии углеродных и стеклянных волокон к термопластичным полимерам методом растяжения композита с единичным волокном. Пластические массы. 1997. № 2. С. 6–8.

48. Молодин В.В., Кузнецов С.М., Большаков Д.В. Измерение прочностных и адгезионных свойств жаростойкого бетона с углетканью. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 8 (692). С. 24–35.

49. Евдокимов Ю.М., Федоров М.С. Методы адгезиометрии клеевых соединений. Клеи. Герметики. Технологии. 2011. № 8. С. 20–26.

50. Ясинская Н.Н., Скобова Н.В., Бизюк А.Н. Расчет прочности адгезионного соединения при формировании слоистых текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2019. Т. 43. №1. С. 52-54.

51. Котомин С.В. Оценка адгезионной прочности связи волокно-термопластичная матрица методом петли. Инженерный журнал: наука и инновации. 2015. № 12 (48). С. 5.

52. Мырхалыков Ж.У., Туребекова Г.З., Сагитова Г.Ф., Сакибаева С.А. Возможности повышения адгезии резины к текстильному корду из искусственных волокон. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2015. № 1 (355). С. 49–53.

53. Сергеев К.В., Жуков В.И. Снижение неровноты по линейной плотности и упрочнение льняной пряжи с помощью ультразвуковых колебаний в процессе мокрого прядения льна. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2012. №4. С. 61-62.

54. Сергеев К.В., Жуков В.И. Анализ параметров льняной пряжи, выработанной мокрым способом прядения при воздействии на ровницу ультразвука и без такового с различными значениями вытяжки. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2013. №3 С. 43-47.

55. Зелинский В.В., Степанов Ю.С., Борисова Е.А. Повышение износостойкости исполнительных органов машин, образующих трибосистему "сталь-сталь". Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 1 (327). С. 43–52.

56. Будников И.В. Основы прядения. Ч. 1 [Текст] : Допущ. М-вом высш. образования СССР в качестве учеб. пособия для вузов текстильной пром-сти / И. В. Будников, Н. Я. Канарский, А. П. Раков ; Под ред. В. Е. Зотикова. - 2-е изд., перераб. - Москва ; Ленинград : изд-во и 1-я тип. Гизлегпрома, 1948 (Ленинград). - 356 с.

57. Рудовский П.Н., Смирнова С.Г. Математическая модель прочности мокрой бескруточной ровницы из льна. Депонированная рукопись № 82-В2010 17.02.2010

58. Кириллова Е.С., Рудовский П.Н., Соркин А.П. Влияние срока хранения увлажненной бескруточной ровницы на ее качество. Вестник Костромского государственного технологического университета. 2006. № 13. С. 14–15.

59. Палочкин С.В., Рудовский П.Н., Соркин А.П., Смирнова С.Г. Устройство для формирования ровницы из льняного волокна. патент на полезную модель RUS 90444 22.09.2009
60. Палочкин С.В., Рудовский П.Н., Соркин А.П. Ровница и способ ее получения. Патент на изобретение RUS 2164567 27.03.2000
61. Палочкин С.В., Соркин А.П., Рудовский П.Н., Егоров Д.Л. Устройство формирования некрученной ровницы из льняного волокна. патент на изобретение RUS 2168569 22.05.2000
62. Ишматов А.Б., Рудовский П.Н., Яминова З.А. Применение серицина для шлихтования основ. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2012. № 6 (342). С. 98–102.
63. Ишматов А.Б., Яминова З.А., Рудовский П.Н. Обоснование режимов получения серицина в виде порошка для приготовления шлихты. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 6 (360). С. 79-83.
64. Прядение льна и химических волокон: справочник/под. Ред Л.Б.Карякина, Л.Н.Гинзбурга. – М.: Легпромбытиздат. 1991.–544 с.
65. Справочник по хлопкопрядению/ Широков В.П. и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, –1985, – 472 с.
66. Исроилов А.Х., Джуразода Ф.О., Жуков В.И. Оценка качества пряжи с помощью характеристик «градиент разрывной нагрузки» и «градиент неровноты по разрывной нагрузке» // Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. – 2015, №2(35). С.24-26.
67. Рудовский П.Н., Белова И.С. Исследование адгезионных свойств клеевой пряжи. Международный Косыгинский форум Международный научно-технический симпозиум «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и ап паратов химической и смежных отраслей промышленности», посвященный 110-летию А.Н. Плановского. Химические волокна (Спецвыпуск), № 6, 2021. С. 50-52.

68. Рудовский П.Н., Белова И.С. Исследование зависимости сил адгезии волокон к связующему от концентрации клеящего вещества при производстве клеевой пряжи. Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS “EESTE-2021”). Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук». Москва, 2021. С. 371-374.

69. Жуков В.И., Титова У.Ю. Определение показателей качества продуктов прядильного производства с помощью установки КЛМ : метод. указ. / В.И. Жуков, У.Ю. Титова. – Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. – 32 с.

70. Рудовский П.Н, Белова И.С., Кузнецова Н.С., Палочкин С.В. Исследование свойств льняной пряжи, полученной клеевым способом. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4 (400). С. 90-96.

71. Белова И.С., Рудовский П.Н. Расчет конструктивных параметров бункера накопителя для сушки льняной пряжи. Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2023. №1. С. 67-71.

72. Жуков В.И., Тихонова Е.Ю., Исроилов А.Х. Анализ работы вытяжного прибора льнопрядильной машины с помощью функции градиента разрывной нагрузки. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 3 (369). С. 127-130.

73. Палочкин С.В. Влияние сил поверхностного натяжения воды на прочность некрученой мокрой льняной ровницы./ С.В. Палочкин, П.Н.Рудовский //Вестник МГТУ: Сборник трудов. – М.: ГОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2009.

74. Рудовский П.Н., Смирнова С.Г. Влияние обвивочных волокон на прочность некрученой ровницы из льна. Вестник Костромского государственного технологического университета. 2010. № 1 (23). С. 34-37.

75. Рудовский П.Н., Баскаков Д.А., Смирнова С.Г. Теоретический анализ влияния частоты вращения вьюрка на прочность бескруточной ровницы. Вестник Костромского государственного технологического университета. 2014. № 1 (32). С. 19-22.
76. Палочкин С.В., Гаврилова А.Б., Рудовский П.Н., Соркин А.П. Обоснование структуры и компонентов бескруточной ровницы, получаемой оббивкой волокнистого сердечника. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 1999. № 3 (249). С. 35-40.
77. Севостьянов П.А., Забродин Д.А., Дасюк П.Е. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств: – М.: «Тисо принт», 2014. – 264 с.
78. Корицкий К.И. Основы проектирования свойств пряжи. – М.: Гизлегпром, 1963 – 246 с.
79. Рашкован И.Г. Методы оценки распределения волокон по поперечным сечениям пряжи. – М.: Легкая индустрия, 1970. – 199 с.
80. Рудовский П.Н., Соркин А.П., Смирнова С.Г. Влияние условий формирования мокрой бескруточной ровницы на ее структуру и прочность. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011. № 3 (332). С. 34-38.
81. А. Федоров. Бинаризация черно-белых изображений: состояния и перспективы развития. 2008, <http://iu5.bmstu.ru/philippovicha/ITS/IST4b/ITS4/Fyodorov.html>
82. Л. Шапиро, Дж. Стокман Компьютерное зрение. Бином. Лаборатория знаний. 2006. С. 752.
83. Рудовский П.Н., Белова И.С., Сахарова Н.С. Исследование поперечного сечения продукта прядения. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 91-97.

84. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высш. школа, 1979, – 400 стр.

85. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов/Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 4-е изд., стер. – М.: высш. шк., 2007. – 491 с.

86. Рудовский П.Н., Белова И.С., Сахарова Н.С. Определение числа контактов между волокнами в поперечном сечении продукта прядения. // Технологии и качество. – 2023, №2 (60). С. 20-24.

87. Белова И.С. Оценка адгезии волокон к связующему при производстве пряжи клеевым способом. Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова. Материалы конференции. Москва, 2020. С. 12-15.

88. Белова И.С. Методика подбора связующего для получения пряжи клеевым способом. Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях. Составитель Т.В. Лебедева, отв. редактор Н.Н. Муравская. 2020. С. 103-106.

89. Рудовский П.Н., Белова И.С. Выбор клеящего состава для выработки пряжи клеевым способом. // Технологии и качество. – 2021, №4 (54). С. 43-46.

90. Белова И.С. Сравнительный анализ сил адгезии и разрывной нагрузки волокна при выработке пряжи клеевым способом. Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х частях. Кострома, 2021. С. 79-81.

91. Лазарева С.Е., Королева Н.Д., Фридлянд Г.И. Прядение льна с варкой ровницы. – М.: Легкая индустрия, 1966. – 126 с.

92. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности).– М.: «Легкая индустрия», 1974.– 262 с.

Спектрограммы

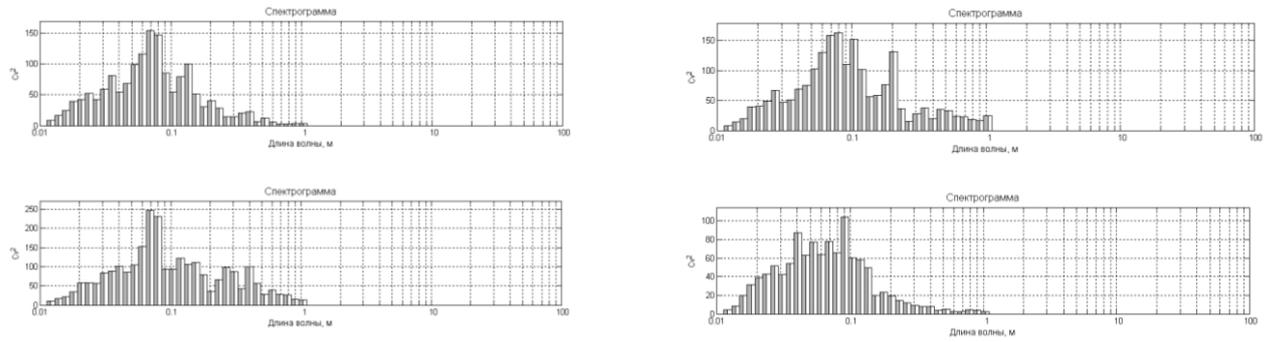


Рис. П1 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВА 6%

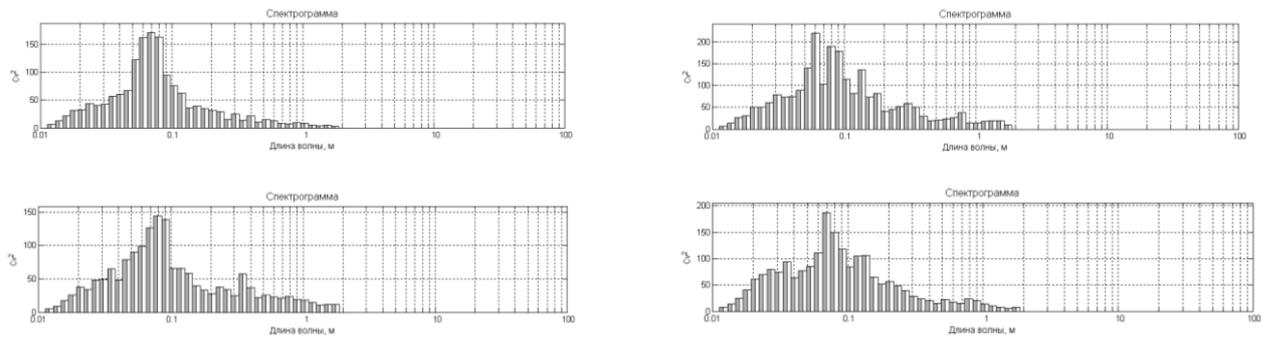


Рис. П2 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВА 5%

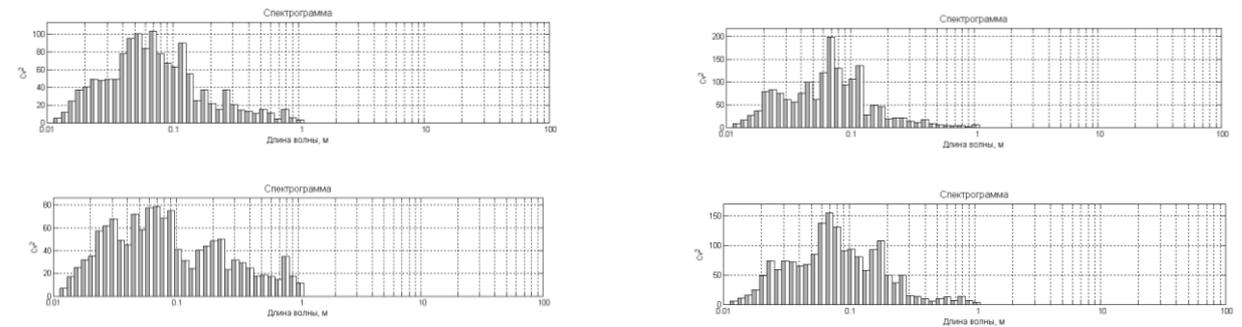


Рис. П3 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВА 3%

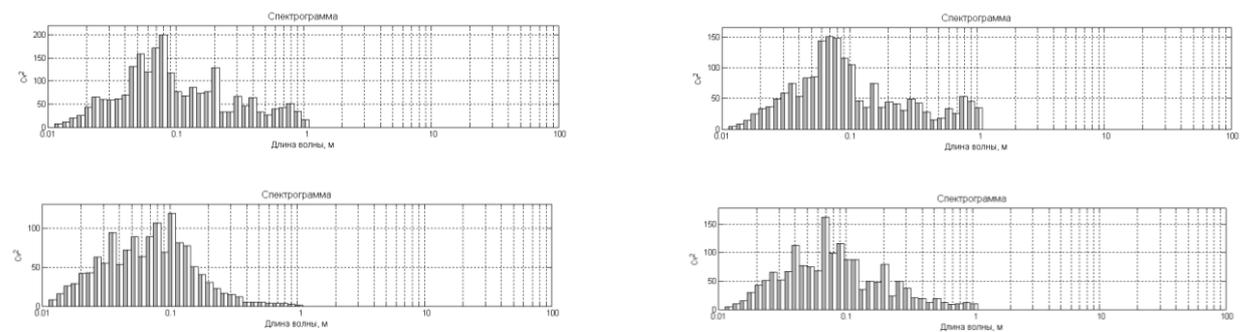


Рис. П4 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВА 1%

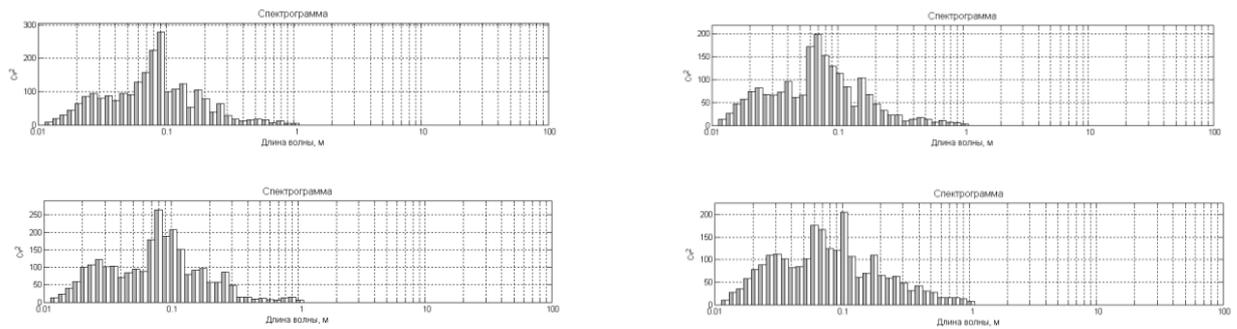


Рис. П5 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВС 1%

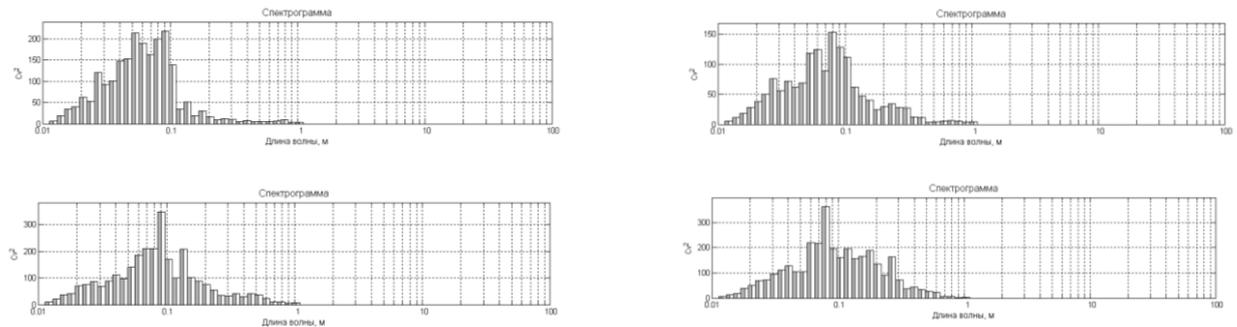


Рис. П6 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВС 1,5 %

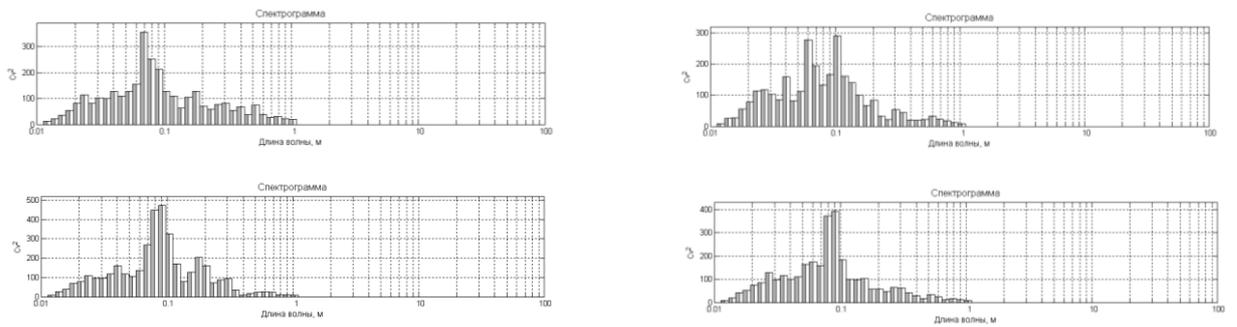


Рис. П7 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВС 2%

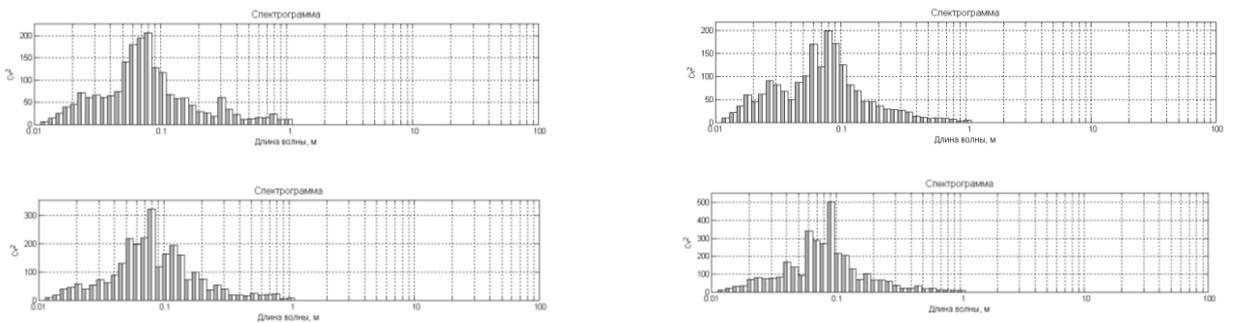


Рис. П8 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой ПВС 3 %

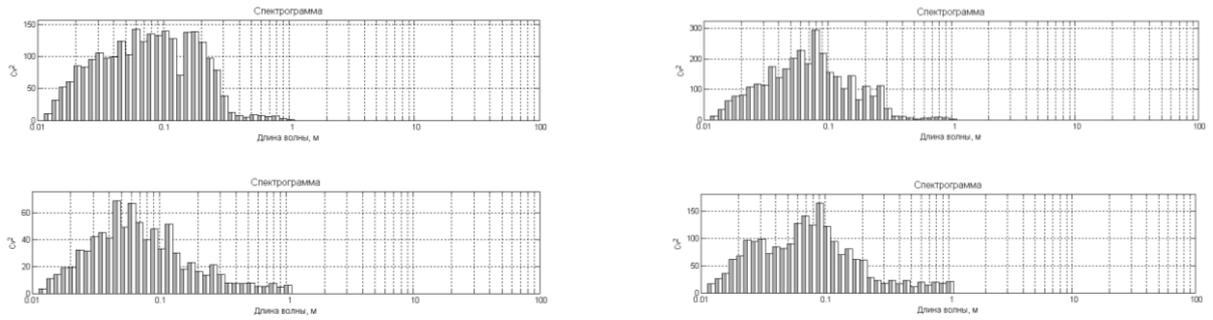


Рис. П9 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором серицина 6%

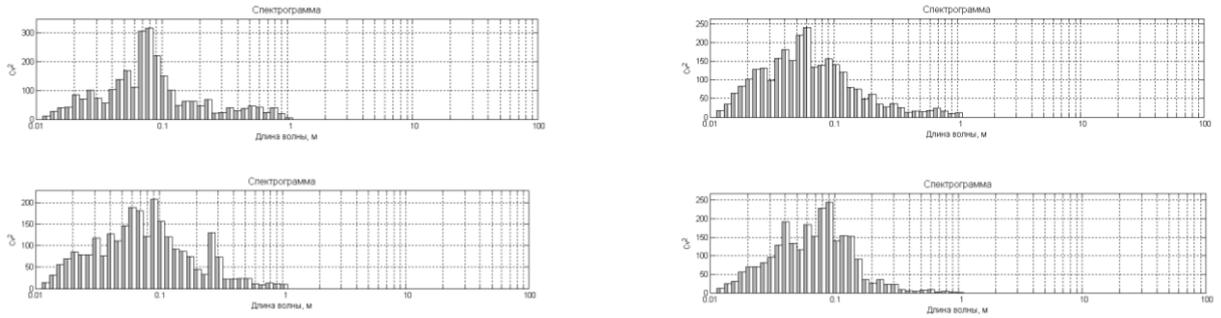


Рис. П10 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором серицина 5%

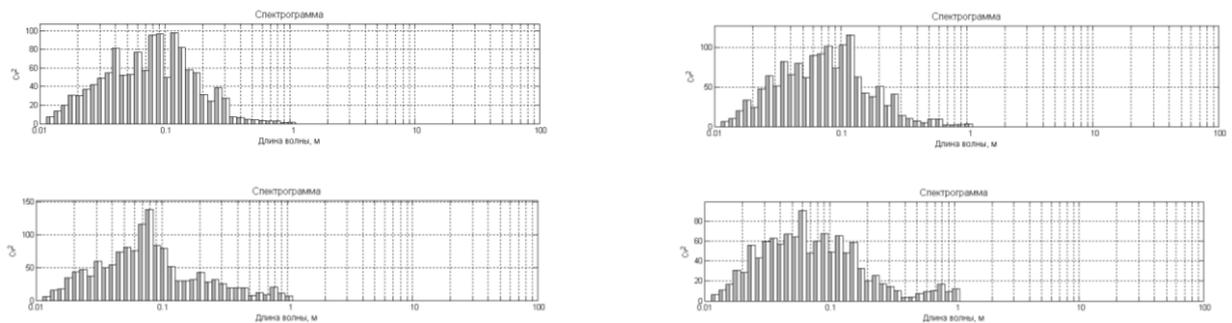


Рис. П11 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором серицина 3%

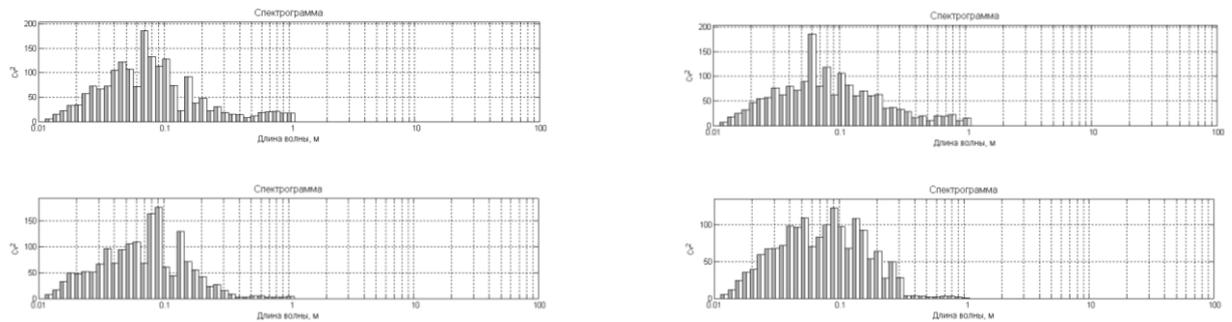


Рис. П12 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором серицина 2%

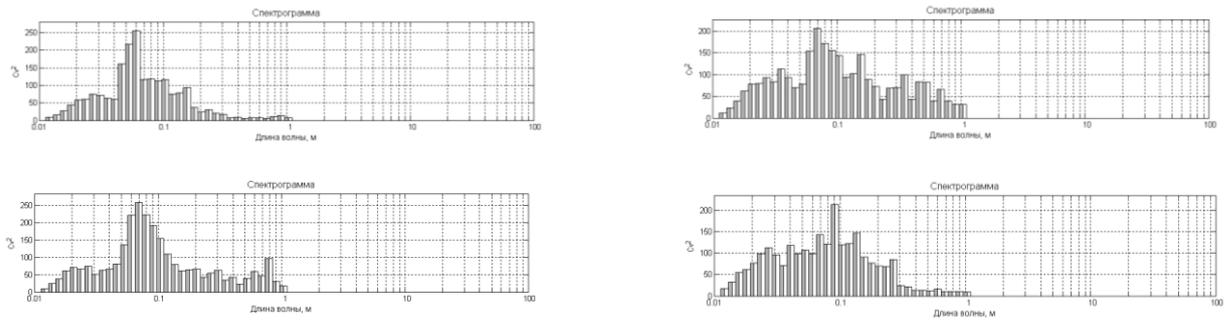


Рис. П13 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором крахмала 3%

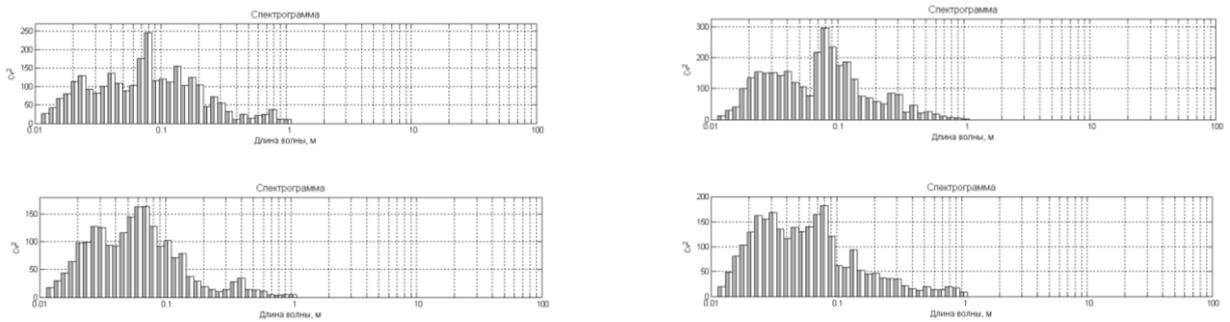


Рис. П14 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором крахмала 2%

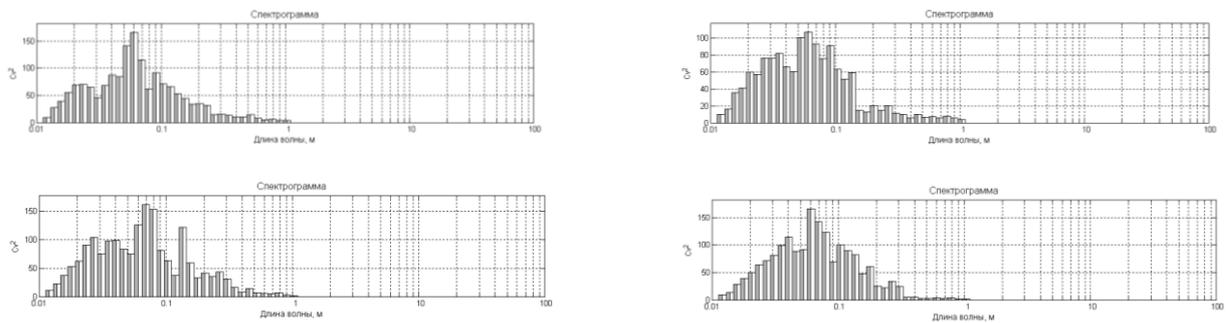


Рис. П15 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором крахмала 1,5%

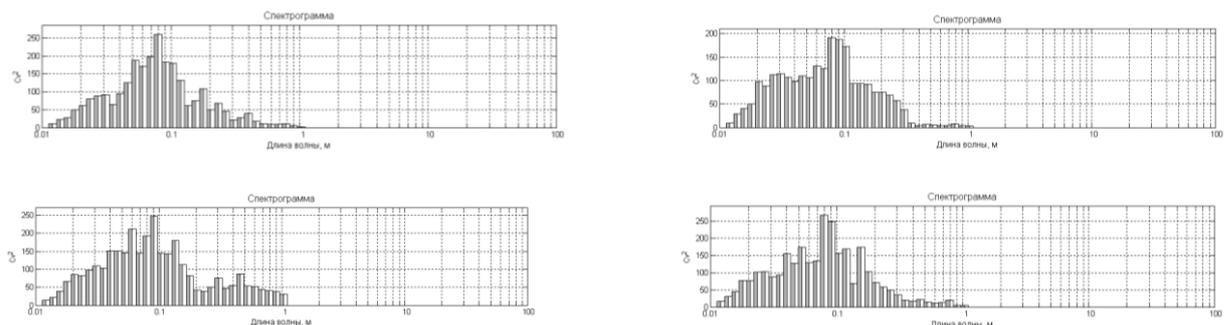


Рис. П16 Спектрограммы пряжи, полученной с пропиткой раствором крахмала 1%

Приложение Б

Цифровые изображения поперечных сечений продуктов прядения

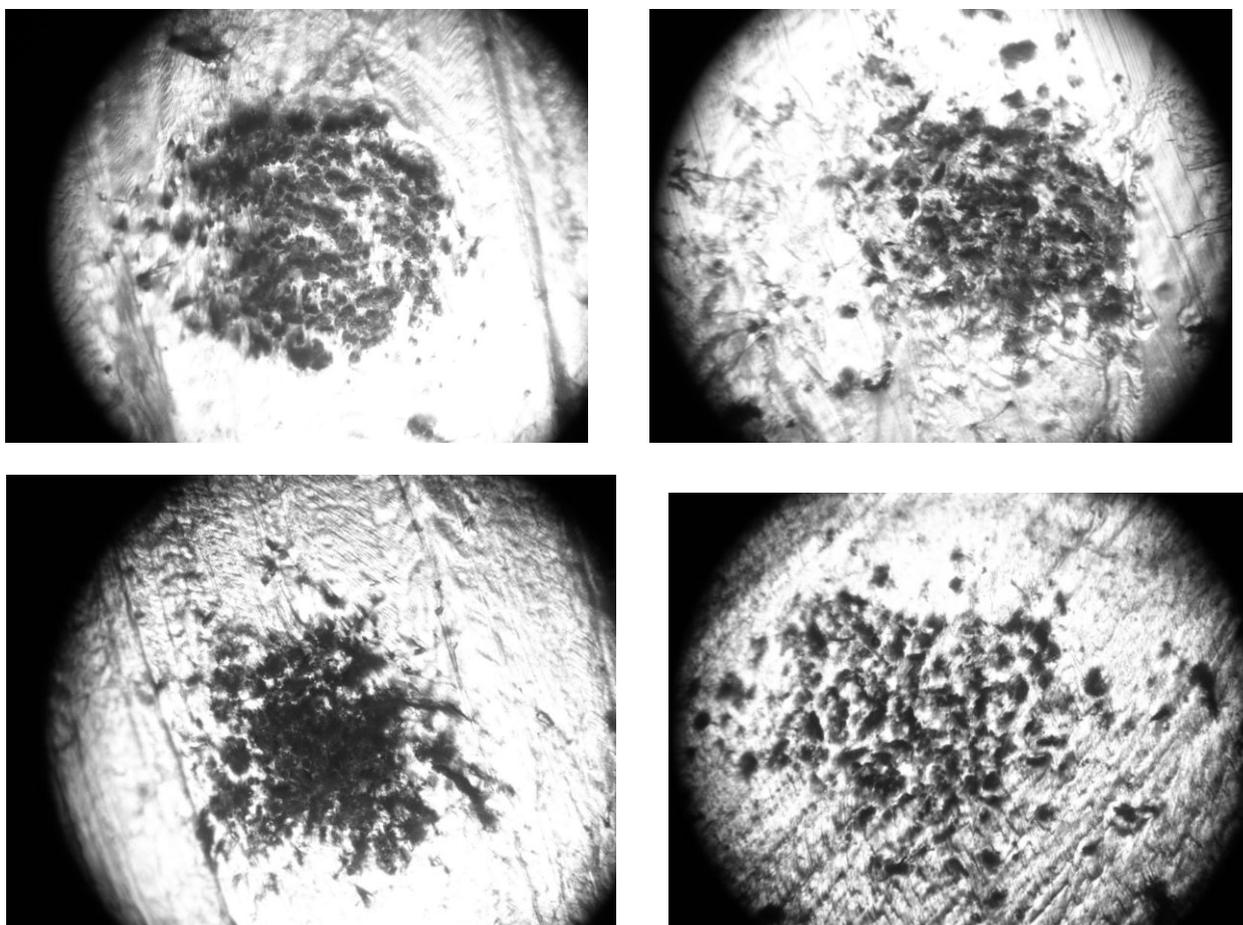


Рис. П17 Ровница крученная беленая 600Текс

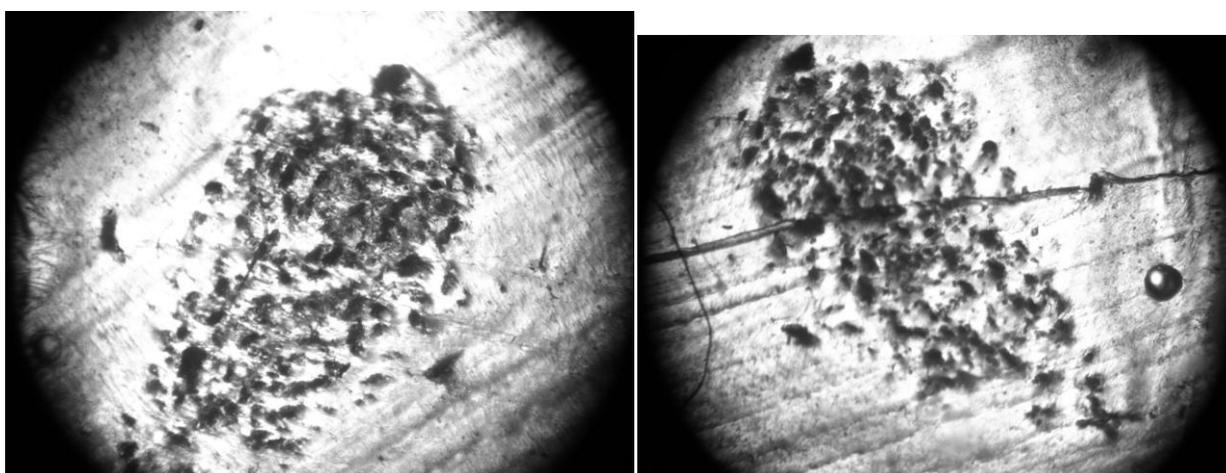


Рис. П18 Ровница бескруточная 550 Текс

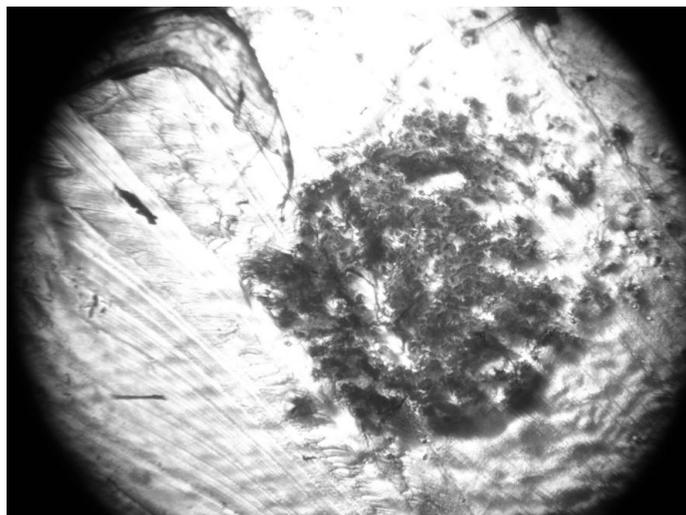


Рис. П19 Пряжа вьюрковая вареная 114 Текс

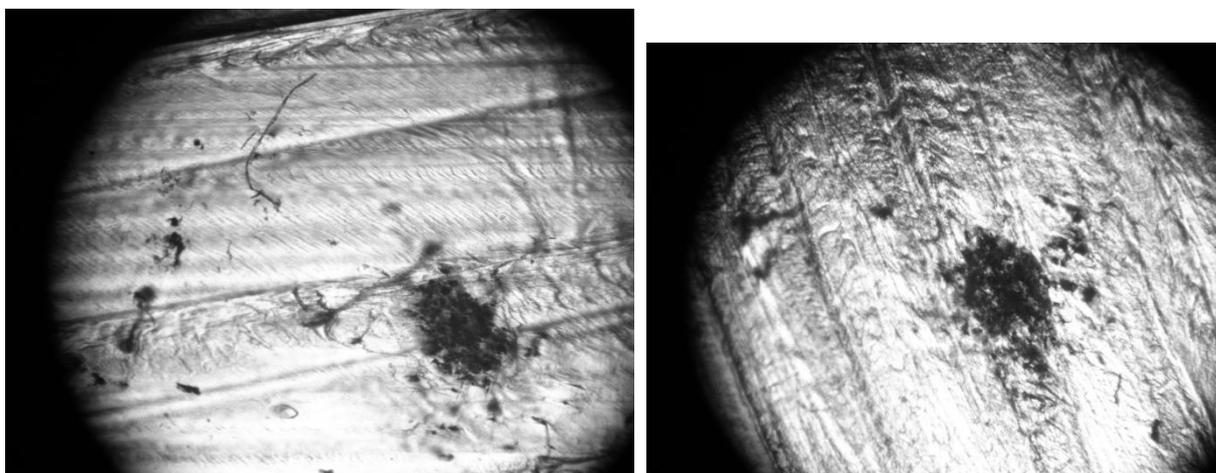


Рис. П20 Пряжа вьюрковая беленая 68 Текс

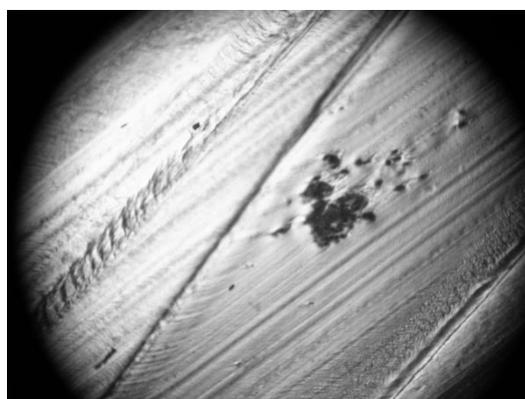


Рис. П21 Пряжа, полученная с пропиткой клеевым раствором ПВА 3%

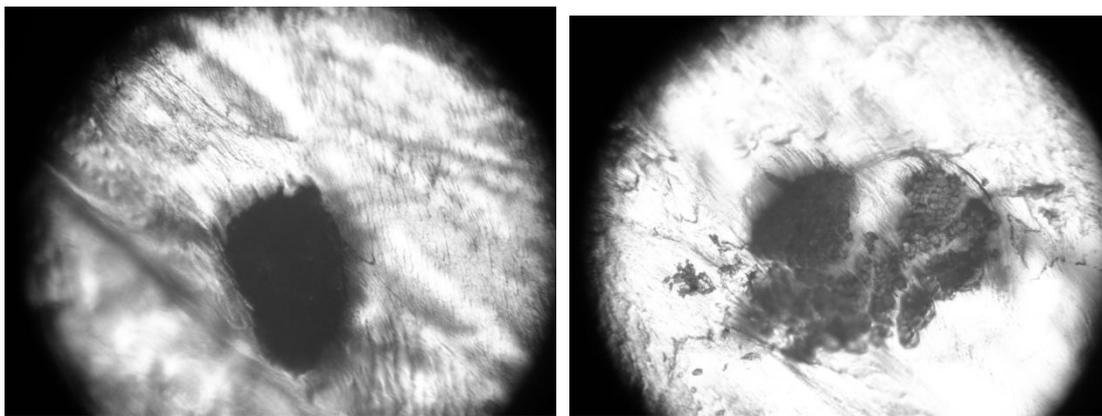


Рис. П22 Пряжа, полученная с пропиткой клеевым раствором ПВС 2%

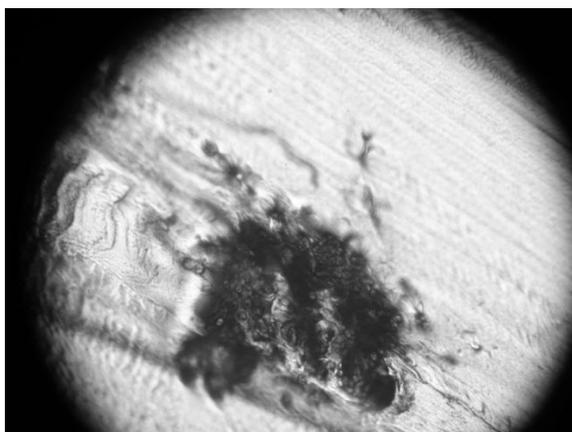


Рис. П23 Пряжа, полученная с пропиткой клеевым раствором серицина 3%

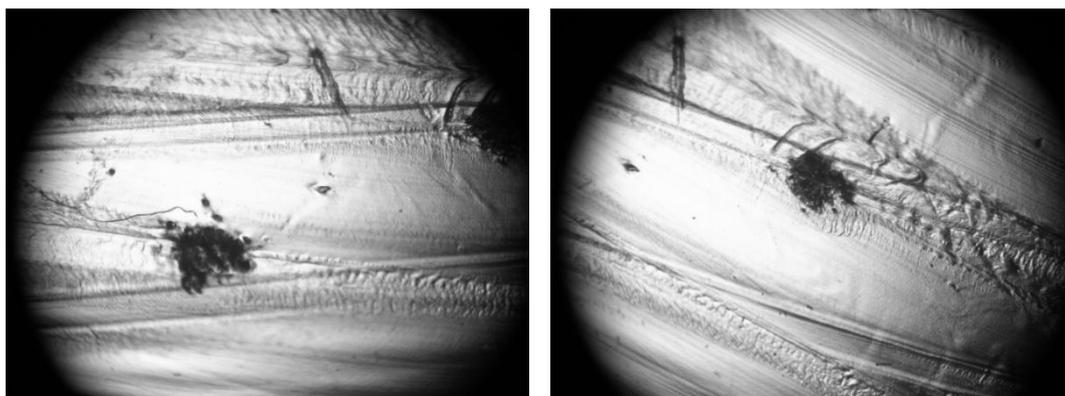


Рис. П24 Пряжа, полученная с пропиткой клеевым раствором серицина 6%

Программа по обработке бинарных изображений

```

import math
import xlswriter
import array as arr
import os
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
import numpy as np
global Ox, Oy, kol_pix, proc_pix, k, L1X1, L1X2, L2X1, L2X2, L3X1, L3X2, L4X1, L4X2, L1Y1, L1Y2, L2Y1, L2Y2, L3Y1, L3Y2, L4Y1, L4Y2
wb = xlswriter.Workbook('Excel_file/dannei.xlsx')
for num in range(3):
    Ox = Oy = 0
    L1X1 = L1X2 = L2X1 = L2X2 = L3X1 = L3X2 = L4X1 = L4X2 = L1Y1 = L1Y2 = L2Y1 = L2Y2 = L3Y1 = L3Y2 = L4Y1 = L4Y2 = 0
    ws = wb.add_worksheet('экземпляр ' + str(num+1))
    img = Image.open('images/ex' + str(num+1) + '.jpg')
    width = img.size[0]
    height = img.size[1]
    k = 0
    sx = 0
    sy = 0
    rmax = 0
    for x in range(img.size[0]):
        for y in range(img.size[1]):
            pix = img.getpixel((x, y))
            if pix != (255, 255, 255):
                img.putpixel((x, y), (0, 0, 0))
    for x in range(img.size[0]):
        for y in range(img.size[1]):
            pix = img.getpixel((x, y))
            if pix == (0, 0, 0):
                k = k + 1
                sx = sx + x
                sy = sy + y
    Ox = sx // k
    Oy = sy // k
    for x in range(img.size[0]):
        for y in range(img.size[1]):
            pix = img.getpixel((x, y))
            if (pix == (0, 0, 0)):
                rv = round(math.sqrt((Ox - x) ** 2 + (Oy - y) ** 2))
                if (rv > rmax):
                    rmax = rv
    r4 = rmax * 4 // 5
    r3 = rmax * 3 // 5
    r2 = rmax * 2 // 5
    r1 = rmax // 5
    kol_pix = np.zeros(60, int)
    proc_pix = np.zeros(60, float)
    def line1(m):
        L1X1 = 0
        L1Y1 = Oy + round(Ox / math.sqrt(3))
        L1X2 = Ox + round(math.sqrt(3) * Oy)
        L1Y2 = 0
        return round(((L1Y2 - L1Y1) * (m - L1X1) / (L1X2 - L1X1)) + L1Y1)
    def line2(m):
        L2X1 = 0
        L2Y1 = Oy + round(Ox * math.sqrt(3))
        L2X2 = Ox + round(Oy / math.sqrt(3))
        L2Y2 = 0
        return round(((L2Y2 - L2Y1) * (m - L2X1) / (L2X2 - L2X1)) + L2Y1)
    def line3(m):
        L3X1 = Ox - round(Oy / math.sqrt(3))

```

```

L3Y1 = 0
L3X2 = Ox + round((img.size[1] - Oy) / math.sqrt(3))
L3Y2 = img.size[1]
return round(((L3Y2 - L3Y1) * (m - L3X1) / (L3X2 - L3X1)) + L3Y1)
def line4(m):
    L4X1 = 0
    L4Y1 = Oy - round(Ox / math.sqrt(3))
    L4X2 = img.size[0]
    L4Y2 = Oy + round((img.size[0] - Ox) / math.sqrt(3))
    return round(((L4Y2 - L4Y1) * (m - L4X1) / (L4X2 - L4X1)) + L4Y1)
def count_circle(a, b, t):
    if (a > Ox) and (b < Oy):
        if b > line1(a):
            kol_pix[t] = kol_pix[t] + 1
        if (b < line1(a) and (b > line2(a))):
            kol_pix[t + 1] = kol_pix[t + 1] + 1
        if b < line2(a):
            kol_pix[t + 2] = kol_pix[t + 2] + 1
    if (a < Ox) and (b < Oy):
        if b < line3(a):
            kol_pix[t + 3] = kol_pix[t + 3] + 1
        if (b > line3(a) and (b < line4(a))):
            kol_pix[t + 4] = kol_pix[t + 4] + 1
        if b > line4(a):
            kol_pix[t + 5] = kol_pix[t + 5] + 1
    if (a < Ox) and (b > Oy):
        if (b < line1(a)):
            kol_pix[t + 6] = kol_pix[t + 6] + 1
        if (b > line1(a) and (b < line2(a))):
            kol_pix[t + 7] = kol_pix[t + 7] + 1
        if (b > line2(a)):
            kol_pix[t + 8] = kol_pix[t + 8] + 1
    if (a > Ox) and (b > Oy):
        if (b > line3(a)):
            kol_pix[t + 9] = kol_pix[t + 9] + 1
        if (b < line3(a) and (b > line4(a))):
            kol_pix[t + 10] = kol_pix[t + 10] + 1
        if (b < line4(a)):
            kol_pix[t + 11] = kol_pix[t + 11] + 1
def proc_circle(c, d):
    ch = 6
    for j in range(c, c + 12):
        ws.write(ch, d, round(proc_pix[j], 2))
        ws.write(ch, d + 7, int(kol_pix[j]))
        ch = ch + 1
for x in range(img.size[0]):
    for y in range(img.size[1]):
        pix = img.getpixel((x, y))
        if (pix == (0, 0, 0)):
            rv = round(math.sqrt((Ox - x) ** 2 + (Oy - y) ** 2))
            if (rv < r1):
                count_circle(x, y, 0)
                img.putpixel((x, y), (0, 255, 0))
            if (rv > r1) and (rv < r2):
                count_circle(x, y, 12)
                img.putpixel((x, y), (255, 69, 0))
            if (rv > r2) and (rv < r3):
                count_circle(x, y, 24)
                img.putpixel((x, y), (255, 20, 147))
            if (rv > r3) and (rv < r4):
                count_circle(x, y, 36)
                img.putpixel((x, y), (255, 215, 0))
            if (rv > r4) and (rv < rmax):
                count_circle(x, y, 48)
for i in range(len(kol_pix)):

```

```

    proc_pix[i] = kol_pix[i] * 100 / k
ws.set_column(0, 0, 35)
ws.set_column(7, 7, 45)
ws.write(0, 0, 'Всего точек - ')
ws.write(0, 1, k)
ws.write(1, 0, 'Новый центр Ox - ')
ws.write(1, 1, sx // k)
ws.write(2, 0, 'Новый центр Oy - ')
ws.write(2, 1, sy // k)
ws.write(3, 0, 'Радиус максимальной окружности - ')
ws.write(3, 1, rmax)
ws.write(5, 0, '% попадания в область (1/12 кольца)')
ws.write(5, 7, 'количество попадания в область (1/12 кольца)')
for i in range(12):
    ws.write(i + 6, 0, str(i + 1) + ' сектор')
    ws.write(i + 6, 7, str(i + 1) + ' сектор')
for i in range(5):
    ws.write(5, i + 8, str(i + 1) + ' круг')
    ws.write(5, i + 1, str(i + 1) + ' круг')
proc_circle(0, 1)
proc_circle(12, 2)
proc_circle(24, 3)
proc_circle(36, 4)
proc_circle(48, 5)
draw = ImageDraw.Draw(img)
draw.line((0, Oy, img.size[0], Oy), fill='blue')
draw.line((Ox, 0, Ox, img.size[1]), fill='blue')
draw.line((0, Oy + round(Ox / math.sqrt(3)), Ox + round(math.sqrt(3) * Oy), 0),
    fill='blue') # прямая 30 градусов - L1
draw.line((0, Oy + round(Ox * math.sqrt(3)), Ox + round(Oy / math.sqrt(3)), 0),
    fill='blue') # прямая 60 градусов - L2
draw.line((Ox - round(Oy / math.sqrt(3)), 0, Ox + round((img.size[1] - Oy) / math.sqrt(3)), img.size[1]),
    fill='blue') # прямая 120 градусов - L3
draw.line((0, Oy - round(Ox / math.sqrt(3)), img.size[0], Oy + round((img.size[0] - Ox) / math.sqrt(3))),
    fill='blue') # прямая 150 градусов - L4
draw.ellipse((Ox - rmax, Oy - rmax, Ox + rmax, Oy + rmax), outline='red')
draw.ellipse((Ox - r1, Oy - r1, Ox + r1, Oy + r1), outline='red')
draw.ellipse((Ox - r2, Oy - r2, Ox + r2, Oy + r2), outline='red')
draw.ellipse((Ox - r3, Oy - r3, Ox + r3, Oy + r3), outline='red')
draw.ellipse((Ox - r4, Oy - r4, Ox + r4, Oy + r4), outline='red')
draw.point((Ox, Oy), fill='red')
fixed_width = 800
width_percent = (fixed_width / float(img.size[0]))
height_size = int((float(img.size[1]) * float(width_percent)))
img = img.resize((fixed_width, height_size))
img.save('Excel_file/image/ex' + str(num + 1) + '.jpg')
ws.insert_image('A20', 'Excel_file/image/ex' + str(num + 1) + '.jpg')
wb.close()

```



«СОГЛАСОВАНО»

И.о. проректора по НИР
Костромского государственного
университета

Исакова Л.А.

«06» 09 2023 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Узбекского научно-
исследовательского института
натуральных волокон, д.т.н., проф.
Ахунбабаев О.А.

«08» 09 2023 г.

АКТ

**о внедрении (использовании) результатов диссертационной
работы на производстве**

Настоящим актом утверждается, что полученные в диссертационной работе Беловой И.С. «Развитие технологии клеевого упрочнения продуктов прядения», представляемой на соискание ученой степени результаты работы:

1. Зависимости коэффициента адгезии серицина к целлюлозе от его концентрации;
2. Математические модели расчета упрочнения волокнистого продукта (пряжи) за счет пропитки раствором
3. Рекомендации по использованию серицина для производства бескруточной клеевой пряжи

приняты к использованию в УзНИИНВ для выработки рекомендаций по использованию серицина, получаемого из отходов кокономотания, в технологических процессах текстильного производства.

Заведующий лабораторией,
доктор философии по
техническим наукам (PhD):

_____ Туйчиев И.И.

Аспирант:

_____ Белова И.С.