

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«КОСТРОМСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



ОРЛОВ Александр Валерьевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕПАНИЯ ЛЬНА
БАРАБАНАМИ С ВИНТОВЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ БИЛ**

Специальность 05.19.02

Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
Е.Л. Пашин

Кострома, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	1
ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ, ТЕХНИКИ ДЛЯ ТРЕПАНИЯ ЛЬНА И РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ.....	10
1.1. Известные технические решения для реализации процесса трепания льна .	10
1.2. Технические решения по совершенствованию конструкции вводной части трепальных машин и барабанов.....	26
1.3. Обзор результатов теоретических исследований процесса трепания	33
1.4. Анализ исследовательских работ по изучению формы трепальных барабанов и бил, а также особенностей перемещения свободных участков прядей от бил одного барабана к другому.....	38
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ТРЕПАНИЯ ЛЬНЯНОГО СЫРЦА БАРАБАНАМИ С ВИНТОВЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ БИЛ И НАЛИЧИЕМ КОНУСНОЙ ЧАСТИ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ПРЯДЕЙ	48
2.1. Анализ поведения участка пряжи у зажима.....	50
2.2. Анализ поведения участка пряжи, расположенного между двумя кромками	58
Заключение по главе 2	69
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СВОБОДНОГО УЧАСТКА ПРЯДИ ЛЬНЯНОГО СЫРЦА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ ОБРАБОТКИ ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	70
3.1. Анализ поведения свободного участка пряжи в процессе движения к подбильной решётке.....	72
3.2. Уточнение модели движения свободного участка пряжи	77
3.3. Экспериментальная проверка существования явления свала пряжи	82
3.4. Анализ явления вторичного свала.....	84
Заключение по главе 3	93
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ СМЕЩЕНИЙ ПРЯДЕЙ В ПРОДОЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЫ..	96
4.1. Исследование поведения прядей в зоне трепания барабанами с наличием входной конусной части и винтовым расположением бил.....	96
4.2. Возможные конструктивные решения для минимизации негативных эффектов от скрещивания прядей при трепании	103
4.3. Оценка технологической эффективности параллелизующей решетки.....	110
4.4. Анализ экономической эффективности использования узла распрямления льна сырца в процессе трепания	114
Заключение по главе 4	116
ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	118
ЛИТЕРАТУРА	122
ПРИЛОЖЕНИЯ	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследовательской темы. В последнее время в Российской Федерации наблюдаются сокращения объемов выработки льняного волокна. Во многом это связано с уменьшением посевных площадей под льном-долгунцом. Причиной тому – снижение уровня государственной поддержки сельхозпроизводителей. При такой ситуации для стабилизации объемов выработки наиболее ценного трепаного волокна и, особенно в условиях импортозамещения, требуется увеличение его выхода на льнозаводах. Одним из направлений решения этой задачи является совершенствование машинной технологии переработки льна, в частности, процесса трепания с использованием существующей на предприятиях техники.

В условиях повсеместного использования стланцевой льнотресты и рулонной технологии её уборки упомянутое совершенствование должно осуществляться с учетом свойств сырья. Прежде всего, это касается повышенного варьирования длины стеблей и их степени вылежки. При этом следует учитывать, что применяемые на льнозаводах мяльно-трепальные агрегаты (МТА), были созданы применительно к переработке более однородной моченцовой тресты. Однако при переработке стланцевой тресты выявились недостатки используемой на практике техники. Из этого вытекает необходимость совершенствования конструкций МТА и режимов их работы для повышения выхода длинного стланцевого волокна с требуемым качеством.

В настоящее время актуальность работ в этом направлении возросла в связи с обеспечением льнокомбинатов сырьем. Это подтверждается поручением Президента РФ от 20 января 2016 года № ПР-79 в адрес Председателя Правительства РФ о необходимости обеспечения текстильной промышленности отечественным сырьем. В частности, в нем указано требование по ежегодному

наращиванию объемов производства отечественного льна и льноволокна. Необходимость этого согласуется с планами развития производства льна, предусмотренных Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг. (утверждена Правительством РФ, постановление № 717 от 14 июля 2012 г.).

Степень научной разработанности темы.

В настоящее время на практике при получении трёпаного льняного волокна применяются машины, содержащие конструкции трепальных барабанов с винтообразным расположением бил и конусной формой входной части. Однако анализ результатов исследовательских работ, связанных с изучением процесса трепания, выявил недостаточное обоснование параметров их рабочих органов. Известны лишь некоторые исследования, связанные с оценкой влияния отдельных элементов конструкций на изменение условий трепания.

Между тем, известно, что основная доля волокнистых отходов при трепании формируется при прохождении материалом входной конусной части барабанов, что не в полной мере объясняется известными результатами исследований. Требуется также дополнительное изучение задачи по оценке влияния на технологический эффект повышенного варьирования исходного льняного сырья. Обзор литературных источников не выявил работ, связанных с этой проблемой.

Общепризнанные итоги исследовательских работ базируются на допущении о малой значимости перемещения прядей в плоскости, параллельной осям барабанов, что не позволяет учесть влияние винтообразной формы бил.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является повышение выхода трёпаного волокна на основе совершенствования процесса трепания льна и параметров машины для его реализации.

Для достижения обозначенной цели решены следующие задачи исследования:

- обоснованы возможные направления исследований по совершенствованию процесса трепания льна с применением существующих на практике МТА;

- развиты теоретические положения процесса трепания льняного сырца барабанами с наличием конусной части в начале их длины и с винтовым расположением бил;

- проведены исследование параметров процесса и конструкции барабанов при обработке стланцевого льна с характерными для него свойствами;

- обоснованы условия, обеспечивающие улучшение процесса трепания;

- проведена экспериментальная проверка основных теоретических выводов и разработать новые технические решения для улучшения процесса трепания;

- оценена технологическую и экономическую эффективность новых решений для улучшения конструкции трепальных барабанов.

Научная новизна работы заключается в разработке моделей процесса перемещения участков прядей сырца при их обработке в трепальной машине барабанами с винтовым расположением бил и наличием конусного участка, обеспечивших выявление ранее не известных угловых смещений пряди в продольной плоскости зоны трепания, расчет их конечных величин в условиях изменения длины волокон, параметров процесса и бил, а также обоснование направлений совершенствования конструкции трепальных барабанов.

В диссертационной работе впервые:

- получена модель перемещения свободного концевого участка пряди в вертикальной продольной плоскости активной зоны обработки при его перемещении с одного барабана на другой, с использованием которой выявлено возникновение углового смещения (угла свала) участка в плоскости, параллельной оси вращения барабанов. Величина этого смещения зависит от угла конуса барабана, угла подъёма винтовой линии била, ускорения конца свободного участка пряди при его перемещении вдоль била в момент схода, длины и массы пряди;

- разработаны модели для расчета угловых смещений в продольной плоскости поля трепания зон участков пряди по её длине, предшествующих свободному концевому участку и определяющих величину конечного углового свала;

- выявлены причины образования перекрещивания разнодлинных прядей в процессе трепания, ухудшающие выход длинного наиболее ценного волокна;
- предложена методика экспериментальной оценки угловых смещений пряди при расположении их свободных участков на подбильной решётке.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии недостаточно проработанных положений теории процесса трепания льна, в частности, особенностей взаимодействия пряди с билами применяемых на практике винтообразных трепальных барабанов в их входной зоне, имеющей форму конуса. Впервые созданы математические модели, описывающие движение обрабатываемых прядей различной длины не только в поперечном, но и в продольном сечениях активной зоны обработки, что позволило обнаружить и исследовать негативные эффекты, способствующие возрастанию волокнистых потерь, а также предложить рекомендации по их предотвращению.

Практическая ценность полученных в работе результатов состоит в разработке практических рекомендаций по совершенствованию применяемых в настоящее время на практике конструкций барабанов с винтовым расположением бил путем установки на них параллелизующих решёток. Они приняты для использования Ивановским механическим заводом им. Г.К. Королева для модернизации конструкции существующей трепальной машины мяльно-трепального агрегата МТА-2Л. Учитывая простоту конструкции решёток, их изготовление и монтаж возможно осуществлять непосредственно силами льнозавода.

Установлено, что применение предложенного решения приводит к увеличению на 1% (абс.) выхода длинного волокна при переработке льняной тресты с повышенной неоднородностью по длине без ухудшения массовой доли в нём костры. Это может обеспечить годовой экономический эффект в виде формирования годовой прибыли на льнозаводе в расчете 0,23 тыс. рублей на одну тонну тресты при условии её среднего номера 0,75.

Определённую практическую ценность представляет требующее дальнейшего совершенствования техническое решение по применению входной

горки с установленными на неё упругими элементами для снижения пиковых натяжений в прядях.

Полученные результаты используются в учебном процессе КГТУ при подготовке инженеров, бакалавров, магистров в рамках дисциплин «Технология и оборудование производства натуральных волокон» и «Проектирование текстильных машин». Это относится к использованию созданного модернизированного экспериментального стенда для трепания льняного сырца барабанами с винтовым расположением бил и наличием конусной части.

Методы исследования. Методологической основой исследования явились работы отечественных и зарубежных ученых в области первичной переработки льняного волокна.

При проведении теоретических исследований использовались методы теоретической механики, дифференциального и интегральных исчислений. Модели отдельных явлений и процессов реализованы с применением математического пакета MathCAD.

В экспериментальных исследованиях использовались методы планирования эксперимента, тензометрии и скоростной видеосъемки, а также впервые предложенный оригинальный метод эксперимента, основанный на фиксации формы свободного участка пряди. Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием алгоритмов математической статистики, реализованных в пакете прикладных программ STATISTICA.

Положения, выносимые на защиту.

- доказательства нового явления углового смещения прядей льносырца в продольной плоскости поля трепания и причины образования перекрещивания разнодлинных прядей, ухудшающие выход длинного наиболее ценного волокна;
- дифференциальное уравнение, описывающее движение пряди в продольной плоскости свободного участка пряди
- методики расчета величины конечного углового смещения пряди разной длины и массы в продольной плоскости поля трепания и в разных зонах по его высоте;

- модернизированный лабораторный станок, имитирующий процесс трепания барабанами с винтовым положением бил и наличием конусного участка, а также методика экспериментального определения положения участка пряжи в поле трепания и подбильной решётке;

- новые рабочие органы трепального барабана для исключения перекармливания прядей разной длины на начальных этапах процесса трепания.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследований, выводов и рекомендаций обеспечена корректным применением законов механики и аэродинамики, и подтверждается сходством результатов моделирования с общепринятыми представлениями и современными результатами в области изучения процесса трепания льна, а также итогами наблюдений и экспериментальных исследований с применением положений математической статистики.

Основные результаты диссертационной работы были доложены и получили одобрение: на международной научно-технической конференции «Лен-2012» (г. Кострома, КГТУ, 2012); на международной научно-технической конференции «Текстиль-2012» (г. Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2012); на международной научно-технической конференции «Прогресс-2013» (г. Иваново, ИВГПУ, 2013); на международной научно-практической конференции «Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур» (г. Тверь, ВНИИМЛ, 2016); на межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству» (г. Кострома, КГТУ, 2014, 2016); на международной научно-технической конференции «Лен-2014» и «Лен-2016» (г. Кострома, КГТУ, 2014, 2016); на Всероссийском семинаре по теории машин и механизмов (г. Кострома, КГТУ, 2014, 2016 г.); на Всероссийском семинаре по научным проблемам агропромышленной переработки лубоволокнистых материалов (г. Кострома, КГТУ, 2014 г.); на расширенных заседаниях кафедры технологии производства льняного волокна КГТУ (г. Кострома, КГТУ, 2013, 2014, 2015); на Общероссийском научном семинаре «Технология текстильных материалов» (г.

Кострома, КГТУ, 2016 г.); на расширенном заседании кафедры механических технологий волокнистых материалов (г. Кострома, КГТУ, 2015, 2016 г.); на расширенном заседании кафедры технологии и проектирования текстильных изделий ИГПУ (г. Иваново, ИГПУ, 2016 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 5 статей в журналах, входящих в «Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, рекомендованных ВАК», 7 в научно-технических журналах, 6 тезисов докладов, одна монография (в соавторстве). Техническая новизна решений, соавтором которых является соискатель, защищена 2 патентами РФ на полезные модели.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из четырех глав, изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 75 рисунков, 10 таблиц, список литературных источников из 90 наименований, а также имеет выводы и приложения.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ, ТЕХНИКИ ДЛЯ ТРЕПАНИЯ ЛЬНА И РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

1.1. Известные технические решения для реализации процесса трепания льна

Первые попытки обосновать, улучшить и механизировать процесс трепания относятся к концу XIX века. В то время существовали рабочие модели, которые, тем не менее, не находили широкого применения в связи с доступностью рабочей силы. Однако с началом первой мировой войны возникла острая потребность как в живой силе (тем самым уменьшив доступность рабочей силы), так и в текстильной продукции. Для исправления ситуации в Германии были организованы так называемые льнопункты, которые поначалу были оборудованы трепальными колесами (рис. 1.1).

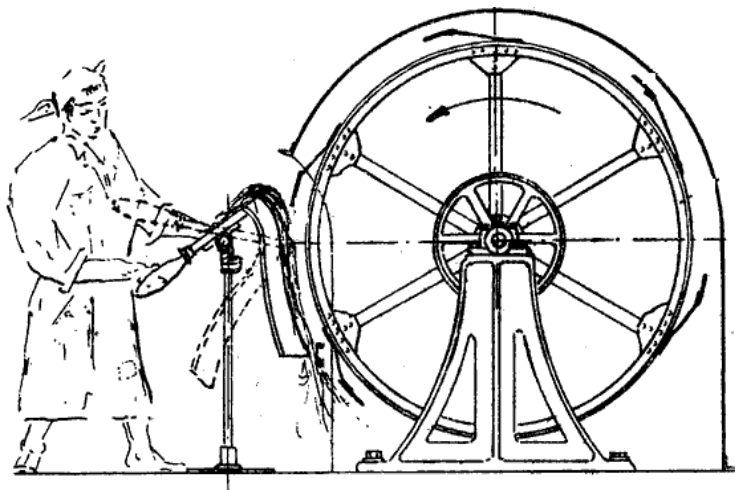


Рис. 1.1. Трепальное колесо для получения трепаного волокна [1]

Следует отметить, что использование подобных колес востребовано и в настоящее время. Для этого предприятием Тверьсельмаш создан современный аналог – трепальное колесо ТК-570 (рис. 1.2).

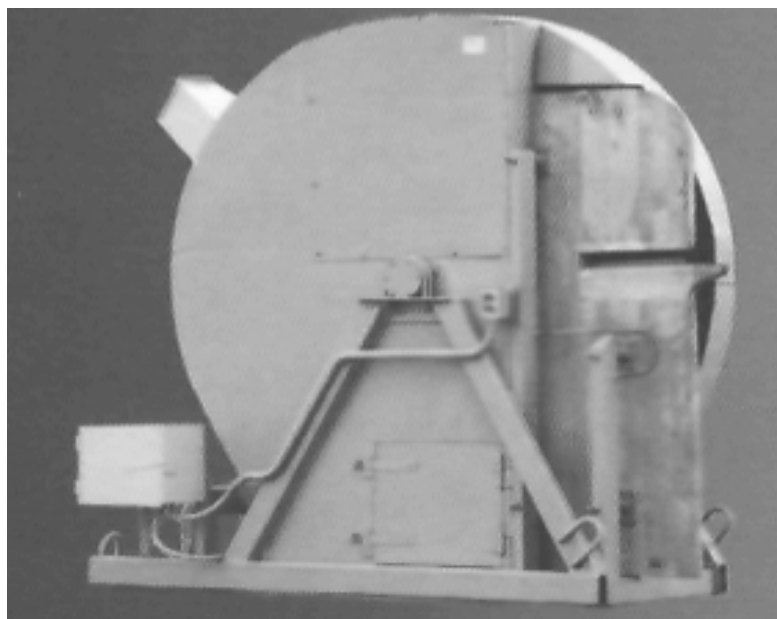


Рис.1.2. Трепальное колесо ТК-570 [2]

В 1918 г была изобретена кольцевая мяльно-трепальная машина с 21-23 парами мяльных вальцов и одной трепальной секцией с двумя четырёхбильными барабанами.

Трепальные машины с зажимными транспортерами были созданы сразу в нескольких странах. Так, в Германии появились машины Биндлера и Этриха, в Англии – машина Сунена, в Бельгии – Ванстеенкисте. Последняя была изобретена в 1924 году и представляла собой двустороннюю машину двухсекционного действия. Машина Сунена была изобретена на год позже и отличалась конструкцией транспортирующего устройства. В 1930 году появилась односторонняя машина Моноблейт, состоящая из четырёх секций с одним однобильным барабаном в каждой [3].

В бывшем СССР развитие промышленной обработки льна началось в те же годы. На льнозаводах тогда устанавливали машины импортного производства – в основном конструкции Этриха, Биндлера и Сунена. Поэтому Мишин Н.Н., Клубов В.С., Разуваев А.А., Андреев В.Л. сконструировали первые советские трепальные машины. Первой из них была односторонняя машина ЛТ-2, состоящая из четырех секций с одним двухбильным барабаном в каждой. При этом в первых двух секциях происходит обработка вершинных частей, а в последних – комлевых [3].

Позднее Сивцовым А.Н. [3] и Тихоновым И.Т. [4] было указано, что наибольшая нагрузка на волокно возникает на начальной стадии процесса, когда слой содержит большое количество костры. Затем нагрузка на пряди резко падает и в дальнейшем остается неизменной. Для устранения этого явления авторами было предложено вести обработку слоя, начиная с концов прядей и постепенно приближаясь к их середине. Для этого, например, Тихонов И.Т. предложил придать барабанам нечетных секций конусообразную форму, а также установить подбильники с целью регулирования угла захлестывания.

Предположение о необходимости выравнивания сил натяжения пряди по длине барабана стало одним из выводов этих изысканий.

В 1932 году была создана ЛТ-1 – двухсекционная трепальная машина двустороннего действия с трехбильными барабанами, работающая по принципу машин Биндлер (рис. 1.3). Позднее, в 1936 году, она была реконструирована для использования конусовидных барабанов. Также Лобановым В.И. с целью предотвращения обрывов слабого волокна были предложены для установки на ЛТ-1 и ЛТ-2 деревянные накладки под бильную планку.

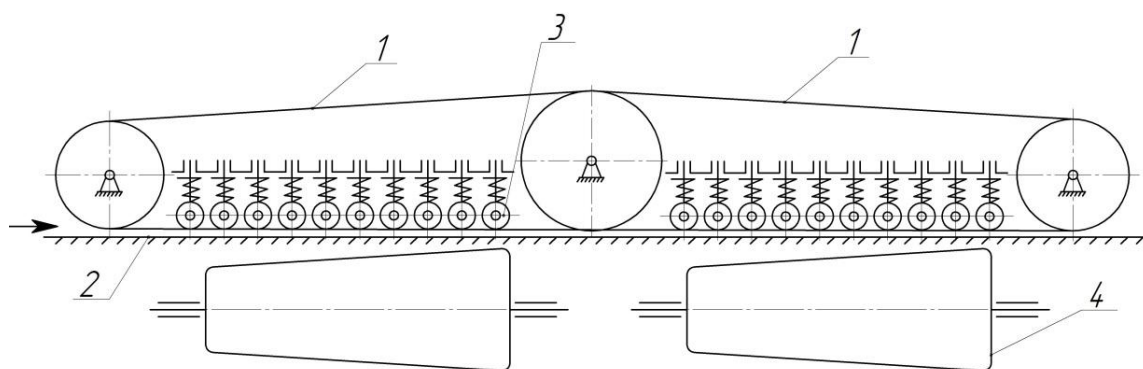


Рис. 1.3. Технологическая схема трепальной машины ЛТ-1 [5]:

- 1 – транспортирующие ремни; 2 – металлическая балка; 3 – нажимные ролики;
4 – трепальные барабаны

В результате дальнейших исследований Тихоновым И.Т. была дана рекомендация по модернизации машины ЛТ-2. Улучшенная конструкция ЛТ-3 отличалась приводом на конусных барабанах, что позволяло плавно и независимо регулировать обороты всех четырёх барабанов ценой увеличения габаритов

машины. Машина ЛТ-4 была оснащена подбильными решетками с увеличенным относительно ЛТ-2 и ЛТ-3 живым сечением, что позволило снизить сопротивление воздуха при вращении, а кромки малого радиуса улучшили очистку волокна за счет эффекта скобления

В модернизированных вариантах трепальных машин, названных ЛТ-5 и ЛТ-6, было применено устройство регулирования величины двойного протрепа. Кроме этого, линия зажима слоя и начало зоны трепания были приближены друг к другу, что впервые позволило обрабатывать короткостебельное сырье. Помимо этого, решетка ЛТ-6 скошена, с плавно увеличивающимся вылетом, что позволяет изменять угол обхвата кромки по мере обработки. Еще одним конструктивным отличием ЛТ-6 является использование козырьков ввода с целью более плавного спуска сырца в зону трепания. Это позволяло уменьшить натяжение прядей на начальных этапах трепания.

В итоге машины ЛТ-5 и ЛТ-6 позволили значительно увеличить выход длинного волокна.

Трепальная машина ШТП-46 была создана на базе ЛТ-1, отличаясь значительно более длинными (до трех метров) барабанами и наличием конусной части в начале и конце барабана.

По окончании Великой Отечественной войны сотрудниками Центрального НИИ промышленности лубяных волокон (ЦНИИЛВ, г. Москва) началось проектирование отечественных мяльно-трепальных агрегатов (МТА). Первым образцом явился агрегат МТ-530-Л. Основой для создания его конструкции явилась машина ЛТ-1, агрегатированная с подготовительной техникой. Одним из конструктивных отличий было удлинение барабанов и увеличение скорости транспортера с целью увеличения пропускной способности. Кроме того, в конструкции МТА были применены вариаторы, позволяющие оперативно регулировать параметры обработки.

В дальнейшем, в 1975 году на основании ряда работ [3-6, 7-9], выполненных в основном в НИИ первичной обработки лубяных волокон (г. Минск) был спроектирован агрегат МТ-100Л, включающем первую из

отечественных машин с наклонными участками транспортера (рис. 1.4). Такое решение позволяло постепенно увеличивать длину протрепываемого участка пряди и постепенный рост сил его натяжения. Для такого конструктивного решения, первая трепальная секция была расположена выше (по горизонтали) второй.

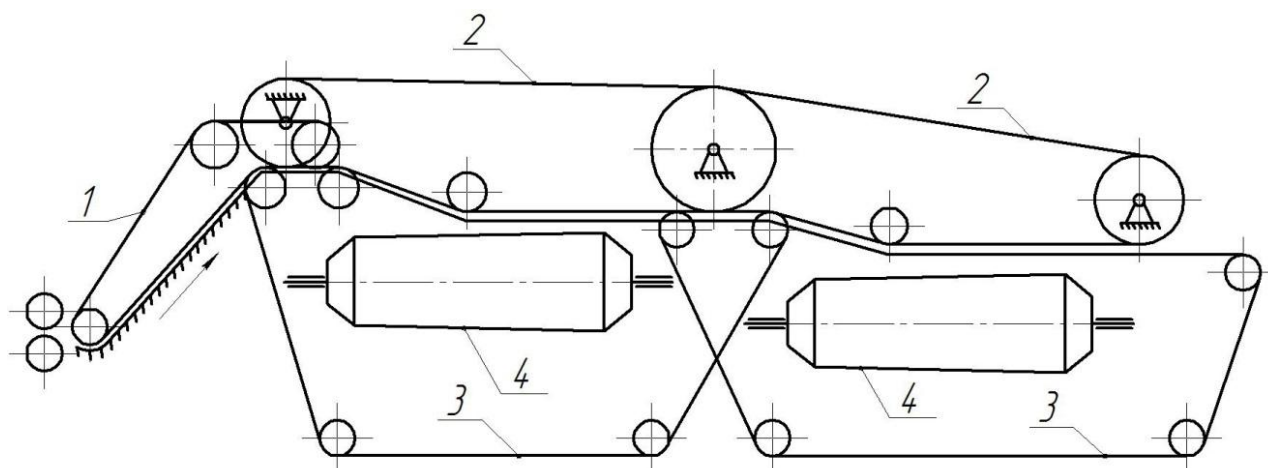


Рис. 1.4. Технологическая схема трепальной машины агрегата МТ-100-Л1 [5]:

- 1 – передающий транспортёр; 2 – верхние ремни зажимного транспортирующего механизма; 3 – нижние ремни зажимного транспортирующего механизма; 4 – трепальные барабаны

Спустя некоторое время, а именно в 1978 году был создан МТА-1Л (рис. 1.5) [6,7]. Процесс окончательного удаления костры в указанных агрегатах был организован также на основе двустороннего трепания с использованием барабанов с винтовым расположением бил (рис. 1.6). Особенностью конструкции трепальной машины явилось отсутствие наклонных участков транспортера. Для постепенного ввода сырца в поле трепания был предусмотрен конусный участок трепального барабана – участок А на рисунке 1.6. Однако анализ опубликованных источников, связанных с обоснованием предложенной конструкции барабанов, не выявил информации об особенностях их конструкции. На практике существовало мнение об улучшении динамических характеристик (постепенное воздействие на слой сырца), а также о возникновении составляющей силы, способствующей перемещению слоя вдоль трепальной машины.



Рис. 1.5. Внешний вид МТА-1Л

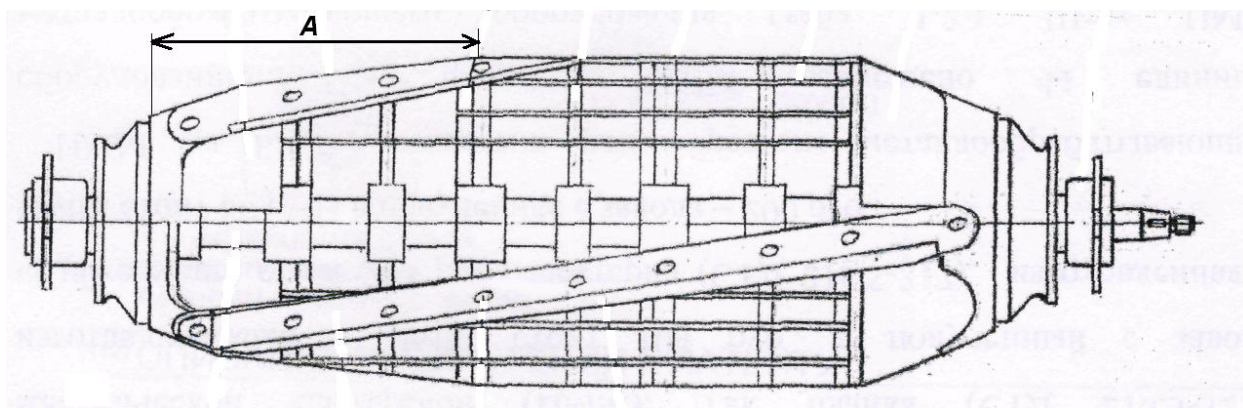


Рис. 1.6. Трепальный барабан с винтовым расположением бил

Длительный опыт эксплуатации этого агрегата и выявленные недостатки на основе рекомендаций практики привели к его модернизации и созданию агрегата МТА-2Л [8] (рис. 1.7). Агрегат содержал регулируемый привод, питатель для утонения слоя, мьяльную машину с валками с разным числом рифлей, двухсекционную трепальную машину с бильными планками, расположенными под углом к продольной оси барабана. Выпуск этих агрегатов осуществлялся Ивановским заводом им. Г.К. Королёва.

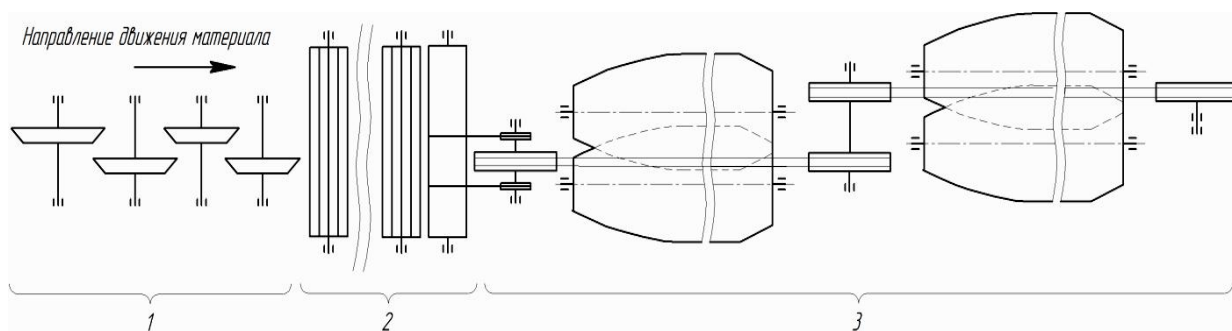


Рис. 1.7. Типовая технологическая схема отечественного агрегата МТА-2Л

1 - зона утонения; 2 - зона промина стеблей; 3 - зона трепания

В последнее время (после 1991 года) работа по совершенствованию техники для получения трепаного волокна продолжалась. Усилиями ВНИИЛ ТекМаш (г. Москва) по исходным данным КТИ и ВНИИ льна был разработан агрегат АМТЛ [9]. Данная техника имела отличия от МТА-1Л и МТА-2Л. Диаметры барабанов были увеличены до 900 мм. На каждом барабане было по 8 бил, при этом их длина на каждом барабане разная. На барабанах также предложено использовать била особой конструкции.

В 2010 году были проведены государственные испытания нового мяльно-трепального агрегата, разработанного Костромским государственным технологическим университетом по заданию Минсельхоза РФ. В основу его конструкции положено решение по патенту РФ № 2461669. Агрегат обеспечивал реализацию следующих операций. При подготовке слоя осуществлялось встряхивание слоя стеблей и их комлеподбивание. При необходимости слой может принудительно смещаться по отношению к линии зажимных транспортеров трепальной машины. Далее происходит слоеутонение, степень которого зависит от исходной угловой дезориентации стеблей. Промин производят в две стадии: вначале среднюю часть слоя, а затем свободные концы стеблей. Процесс трепания реализован в условиях повышенной дифференциации воздействий (рис. 1.8) [5].

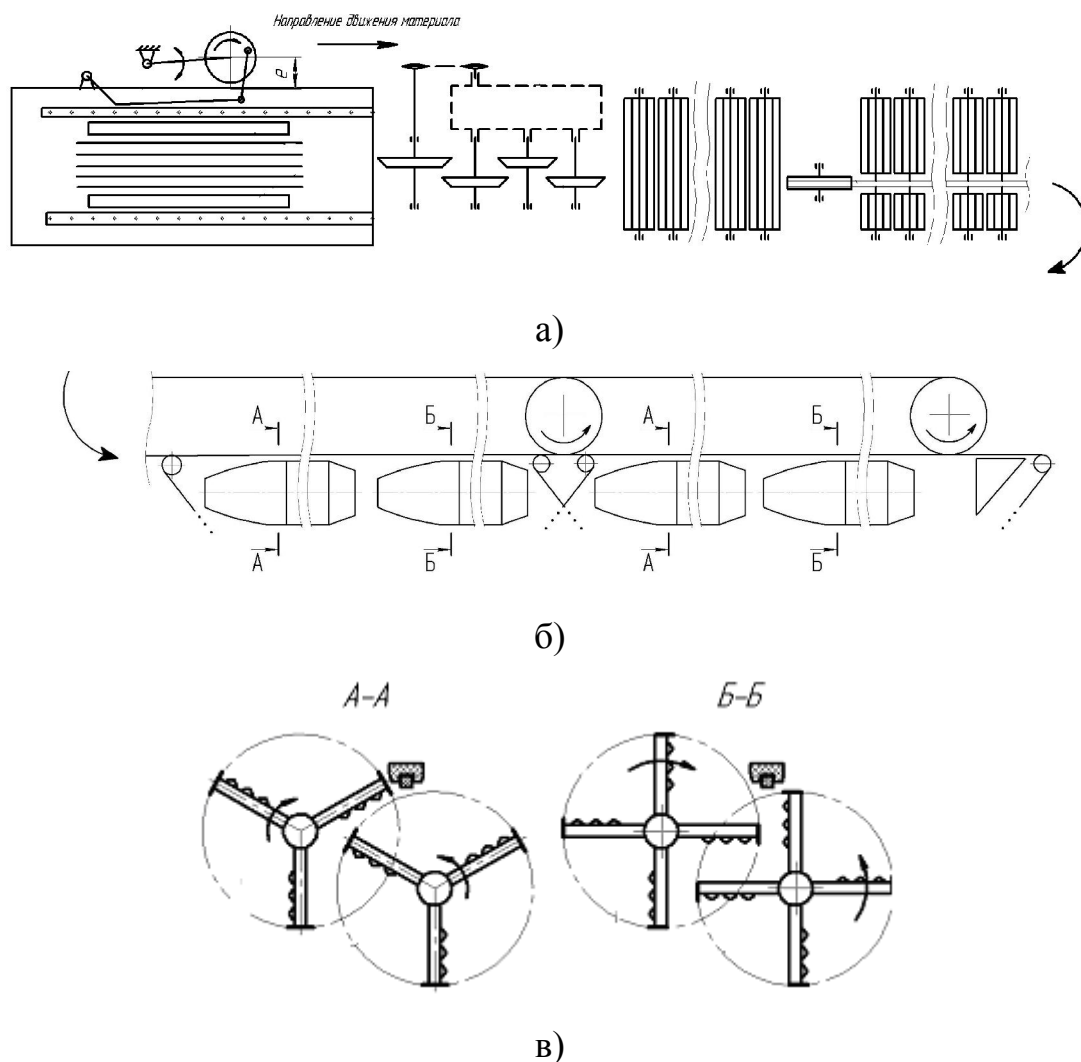


Рис. 1.8. Схема нового мяльно-трепального агрегата МТА-3Л

Испытания машин, составляющих МТА-3Л, показали следующие результаты:

- а) обеспечиваются условия безопасной эксплуатации всех машин;
- б) по результатам агротехнических и технологических испытаний с использованием льняной стланцевой тресты номера 1,25 и 1,75 установлено, что:
 - в среднем по всем испытываемым партиям производительность линии по тресте составила примерно 1,6 т/ч;
 - в результате испытания установили, что изменчивость степени утонения с использованием слоеутоняющей машины составляет 1,69 раза, то есть степень утонения возможно изменить с 6,5 до 11 раз;
 - изменение показателя пригодности слоя: для партии № 1 составило от 0,60 до 0,78, а для партии № 2 составило от 0,64 до 0,81.

Таким образом, в среднем по всем партиям пригодность слоя при использовании новых машин составила 0,795;

- умин для испытываемых партий в среднем составил 31%;

- для существующей типовой трепальной машины степень дифференциации по интенсивности воздействий составила – 110; для новой машины – 213.

- установлено улучшение основных технологических показателей:

а) по выходу длинного волокна наблюдается рост на 31,8%;

б) по уровню недоработанного волокна происходит снижение на 15,7%.

Эти результаты позволили государственной комиссии сделать вывод, что новый агрегат удовлетворяет требованиям исходного технического задания Минсельхоза РФ. Поэтому комиссия рекомендовала:

- использовать новый агрегат на практике с применением оптимальных режимов работы новой линии для переработки льна;

- рекомендовать их для апробации в условиях действующего производства (льнозавода) на основе сравнения с машинами-аналогами отечественного и импортного производства. Выбор льнозавода, на котором будут апробированы новые машины, должен быть осуществлен с учетом требований Минсельхоза РФ, предложений льнозаводов, а также с учётом рекомендаций разработчика линии и завода-изготовителя [5].

В настоящее время новый агрегат МТА-3Л установлен на Даниловском льнозаводе Ярославской области для проведения производственных испытаний и последующей эксплуатации (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Новый мяльно-трепальный агрегат МТА-3Л в цеху Даниловского льнозавода (вид: начиная с последней секции мяльной машины и четырёхсекционная трепальная машина)

Помимо заводских агрегатов, создавались машины для колхозной обработки. Известна машина для внезаводской обработки льна КЛТ-ВНИИЛ-А. Особенностью этой машины была разная длина бил переднего и заднего трепальных дисков, что позволяло дифференцировать процесс трепания путём предварительного одностороннего протрёпа.

Опыт использования этих агрегатов позволил спроектировать СКБ «Бежецксельмаш» более совершенную технику для переработки льна в сельхозпредприятиях. Наиболее известной являлась трепальная машина ТЛ-40, применяемая до настоящего времени (рис. 1.10).

В более поздний период по исходным данным КГТУ был разработан Костромским СКБТМ агрегат АЛС (агрегат льняной Смирнова) для получения трепаного волокна. Он рекомендован для работы в основном в условиях малых хозяйств, так как их пропускная способность недостаточна для работы в условиях льнозавода. Это является следствием горстеевого питания машин. Конструктивной особенностью АЛС, схема которого предложена профессором КГТУ Б.И. Смирновым, является использование сначала одно-, а затем двухстороннего

трепания (рис. 1.11). Согласно схеме, в зоне 1, куда поступает сырец с большим содержанием костры и значительной угловой дезориентацией прядей, производится первоначальное одностороннее трепание. В процессе его параллелизуются волокнистые комплексы и из сырца удаляется свободная костра посредством воздействия на слой бильных планок 9, колковой гарнитуры 10 и направляющего козырька 11 барабана 4 с зазором *A*. Этот зазор уменьшается по ходу обработки сырца и от сечения закрепления слоя к его концам.

Решение по конструкции трепальной машины АЛС было сходным с предложением по [10].

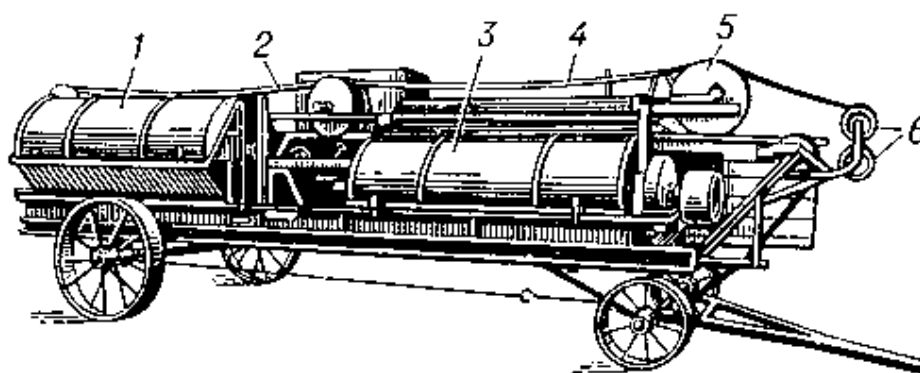


Рис. 1.10. Трепальная машина ТЛ-40

(1 и 3 — трепальные секции; 2 и 4 — зажимные транспортёры; 5 — автопитатель; 6 — натяжные ролики)

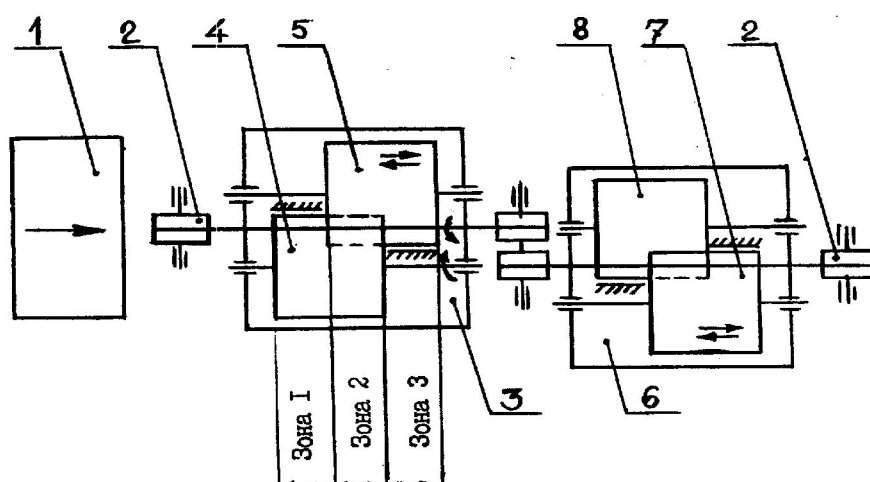


Рис. 1.11. Принципиальная схема трепальной машины агрегата АЛС [11]

Применительно к условиям переработки льна в частных хозяйствах в 2007 году на основе совместных разработок КГТУ и ВНИИ по переработке

лубяных культур (г. Кострома) была создана однопроцессная машина для переработки льняной тресты (рис. 1.12) [2]. Особенностью установленных в машине трепальных барабанов является наличие подвижных рабочих органов, работа которых осуществляется согласно схеме, указанной на рисунке 1.13.



Рис. 1.12. Однопроцессная машина для обработки льна

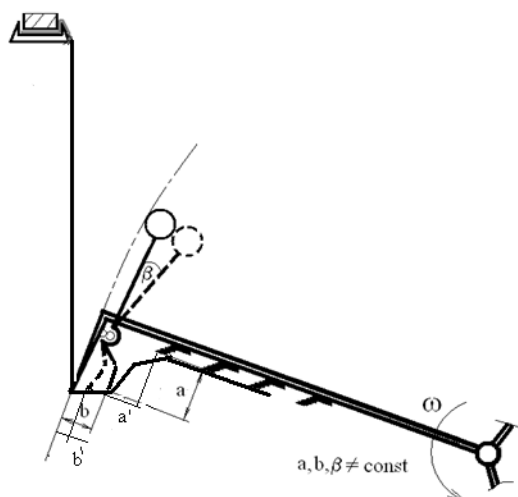


Рис. 1.13. Схема взаимодействия пряди с билом с подвижными элементами

Наряду с созданием агрегатов для получения трепаного волокна в СССР велась разработка специальных трепальных машин для обработки «недотрепа». Причиной его возникновения является повышенная неровнота свойств стеблей

тресты. При получении трепаного волокна в условиях, когда количество воздействий на материал недостаточно, а степень их дифференциации по интенсивности мала, определённая доля волокнистых прядей будет содержать повышенную долю костры. Для предотвращения снижения производительности МТА такие пряди дополнительно обрабатывают на специальных машинах. К их числу относится машина ТНВ-170, созданная в объединении «Псковмаш» (рис. 1.14).

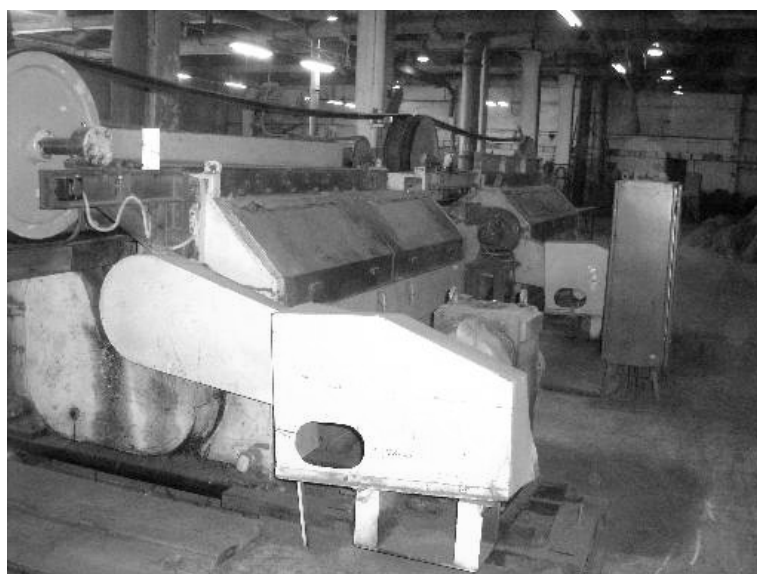


Рис. 1.14. Трепальная машина ТНВ–170

Представляет интерес развитие технических средств для переработки льна за рубежом. На начальных этапах (начало прошлого века) применяемая там техника совершенствовалась в направлении поточности процесса переработки тресты. В этом направлении работали немецкие и бельгийские фирмы [12, 13].

По сведениям, изложенным в [5] в 1953 году, была испытана чехословацкая машина «Тотекс». В её конструкции применялись вариаторы для регулирования скорости вращения барабанов, а также комлеподбиватель и прочесывающий аппарат. Особенностью агрегата была замена мятья плющением.

В 1958 году фирмой Ванговер, выпускающей агрегаты для получения трепаного волокна, были модернизированы трепальные машины. Использовали новые шестибильные барабаны, увеличенные до диаметра 820 мм. Одним из преимуществ машины Ванговер является отсутствие литых деталей, что

уменьшает массогабариты машины. В конце длины трепальных барабанов второй и четвертой секции на тыльной стороне бил расположены трубы, способствующие увеличению угла обхвата кромки била.

Машины типа «Вандоммель» имеют трехбильные барабаны с конусной частью, при этом на начальных участках длины вылет рабочей кромки относительно подбильной решетки равен нулю, что способствует мягкому удалению насыпной костры. В цилиндрической рабочей части барабана имеются две бильные планки, с промежуточной подбильной решеткой между ними.

Одной из технологических особенностей агрегатов «Депортер» является переменное количество бил на барабане. Начальные участки были оснащены шестью билами, а рабочие участки – десятью, что позволяло постепенно увеличивать нагрузку на пряжи.

Следует отметить, что в открытой печати не найдено работ, в которых были бы представлены исследования по обоснованию конструкций иностранных машин. Поэтому, вероятно, первые трепальные машины проектировались зачастую на основе производственного опыта, без сопутствующего теоретического обоснования, что требовало стадии испытаний, доработок и реконструкции.

Стоит отметить, что до перехода на промышленные способы получения тресты, на отечественных льнозаводах перерабатывали стланцевую тресту. Для её переработки использовали иные по конструкции мяльно-трепальные агрегаты. В них использовали мяльную машину с фиксацией слоя, а многосекционная трепальная машина обеспечивала необходимую степень очистки неоднородного (в первую очередь по отделяемости) материала при более высоком выходе длинного волокна за счёт дифференциации интенсивности воздействий на обрабатываемый материал. При этом обеспечивался требуемый уровень производительности оборудования.

Такая схема обработки льняной тресты и в настоящее время применяется в странах Европы, поскольку они в качестве сырья используют стланцевую тресту.

Были рассмотрены наиболее прогрессивные образцы бельгийской и французской техники, обеспечивающей в настоящее время требуемую производительность. Внешний вид их отдельных вариантов представлен на рис. 1.15...1.17, а результаты сравнительного анализа технических характеристик приведены в таблице 1.1.

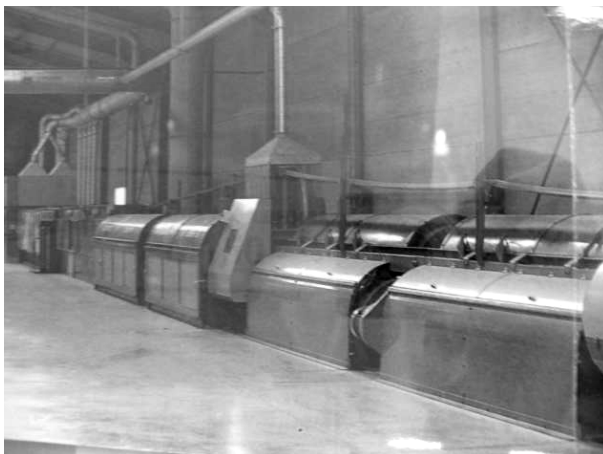


Рис. 1.15. Мьяльно-трепальный агрегат фирмы «Депортер»



Рис. 1.16. Мьяльно-трепальный агрегат фирмы «Юнион»

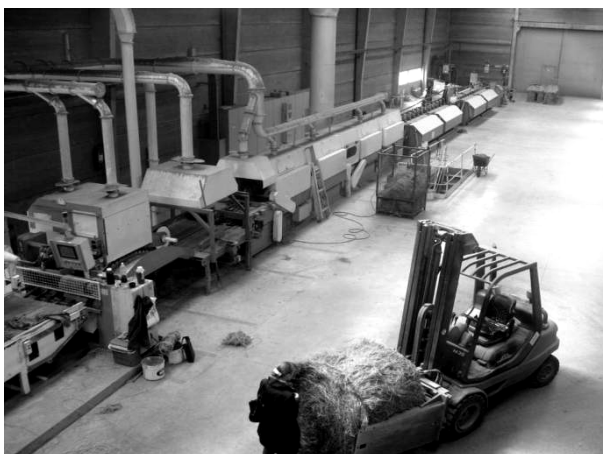


Рис. 1.17. Мьяльно-трепальный агрегат фирмы «Ванхауваерт»

Сравнительный анализ наряду с параметрами, указанными в табл. 1.1, позволил выявить следующее. Все импортные агрегаты сориентированы на переработку тресты с влажностью 16...19%. Поэтому их установка на заводах РФ потребует использование сушильных машин, которые не совместимы с ними по производительности. Кроме этого, возникают сложности при агрегировании и размещении оборудования на льнозаводах.

Большинство линий содержат мяльную машину с зажимным транспортёром для фиксации слоя. Имеется узел для комлеподбивания и узлы для прочёса стеблей, которые во многих случаях используются для очёса стеблей в целях получения семян.

Таблица 1.1 - Сравнительные данные по стоимости оборудования, его производительности, энергоёмкости, массе и габаритам

Наименование оборудования	Стоимость, тыс. руб.	Производительность по тресте №1,00, кг\ч	Мощность установл. электродвигателей, кВт	Длина, м	Масса, т
АМТЛ-1	9715,28	660	30,2	19,8	14,5
МТА-2Л	8700,54	660	32,0	12,4	9,5
Depoortere	31040,6	1400	95,0	53,7	40,0
Vanhouwaert	32040,6	1400	95,0	53,7	40,0
Van Dommele	30040,6	1400	95,0	53,7	40,0

Обращает на себя внимание высокая потребляемая мощность импортных линий – до 95 кВт. Габаритные размеры по ряду позиций (в частности, по длине) также будут приводить к проблемам при монтаже и эксплуатации на отечественных льнозаводах, т.к. длина агрегатов составляет более 40 м.

Анализ конструкций трепальных машин позволил констатировать следующее. Несмотря на схожую кинематическую схему, многие трепальные машины отличались реализацией вводной части трепальной секции, важность которой была показана Ипатовым А.М [14].

На этом основании представляет особый интерес технические решения по оформлению вводной части трепальных барабанов.

1.2. Технические решения по совершенствованию конструкции вводной части трепальных машин и барабанов

Выше было отмечено, что первые образцы машин для поточной переработки слоя тресты уже предусматривали элементы дифференциации по интенсивности воздействий на обрабатываемый материал. Машины ЛТ-1, например, содержали конусные барабаны. В агрегате МТА-530Л питание сырцом в трепальных машинах осуществлялась посредством постепенного ввода. Далее это решалось путем введения конусной части у трепальных барабанов. Все это было направлено на снижение интенсивности воздействий на начальных этапах обработки, когда сырец обладает повышенной массой, а его структура требует улучшения (распрямление прядей, удаление не зажатого волокна и его параллелизация).

Создание эффективных решений в данной области до сих пор остается актуальной задачей. Для её решения предлагались различные конструкции как самой трепальной машины (остов, узел зажима и т.п.), так и трепальных барабанов.

Применительно к барабанам, а именно их вводной части, можно указать на решение [15] Сорокина Н.К. и Дьячкова В.А., заключающееся в использовании двух соосных барабанов, вращающихся с разной скоростью.

Заметим, что такое решение усложняло конструкцию привода, а также усложняло прохождение слоя через переходную зону между двумя полу-барабанами.

Известен способ трепания с использованием барабанов, в котором применяется предварительный односторонний протреп сырца более длинным трепальным барабаном по отношению к противоположному [10] (рис. 1.19).

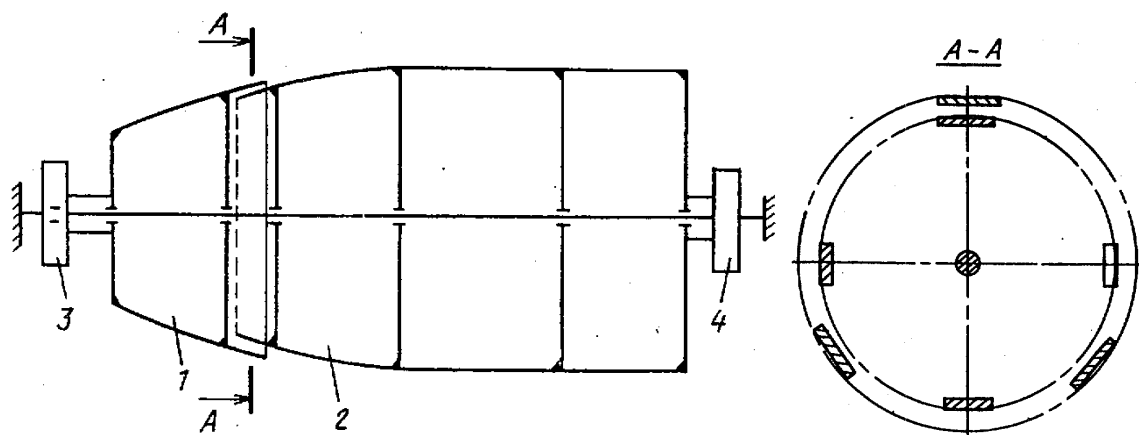


Рис. 1.18. Барабан для трепания, включающий вводную часть для удаления насыпной костры 1, основную часть для удаления присушистой костры 2, приводы барабанов 3 и 4 [15]

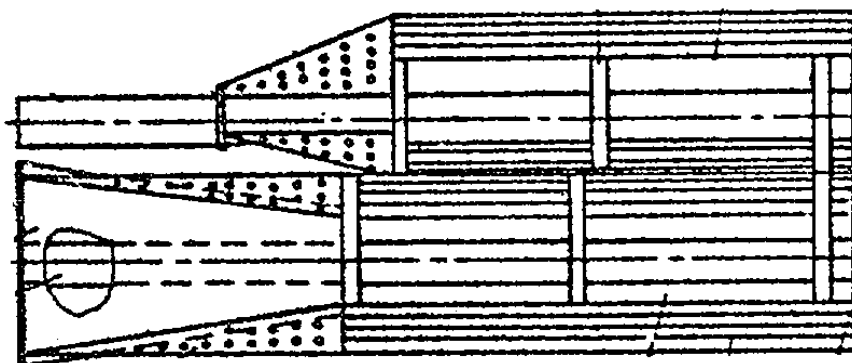


Рис. 1.19. Барабаны с использованием одностороннего трепания на начальных этапах процесса

Лапшиным А.Б., Пашиным Е.Л. и Вихаревым С.М. была предложено [16] устанавливать на начальном участке длины барабана дополнительные била в промежутке между бильной планкой и подбильной решеткой. По замыслу авторов, это должно было снизить интенсивность воздействий на начальном этапе.

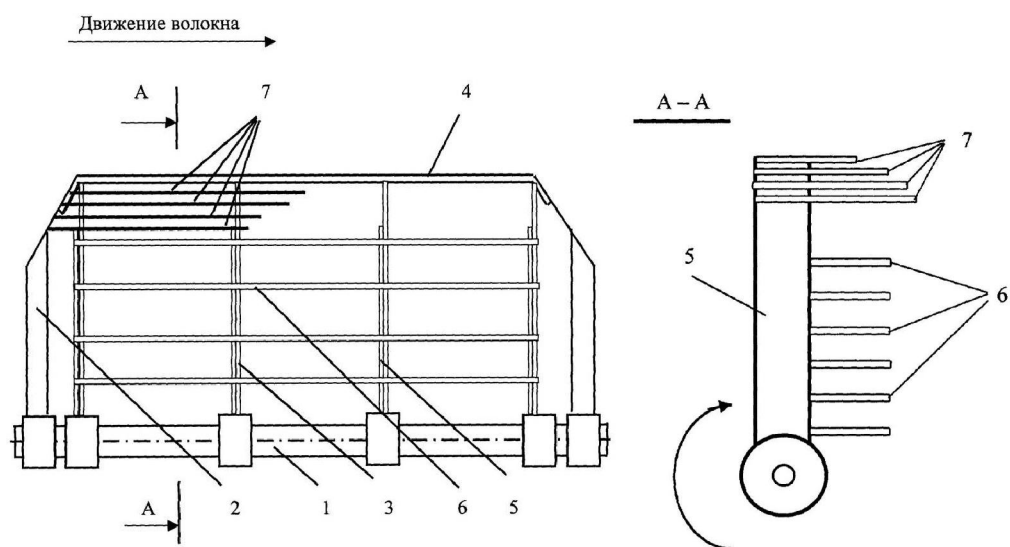


Рис 1.20. Патент РФ №2151222. На чертеже обозначены:

1 - вал, 2 - диски, 3 - крестовины, 4 - било, 5 - стойка,
6 - планки подбильной решетки, 7 - дополнительные била

А.Н. Лукиновым был предложен вариант закрепления бильной планки 9 на упругом основании 7, что должно было смягчить интенсивность нагрузок, возникающих в обрабатываемых волокнах (см. рис. 1.20) [17]. При этом сама подбильная решётка установлена на барабане жёстко. Такая конструкция рекомендовалась автором для начальных зон трепания.

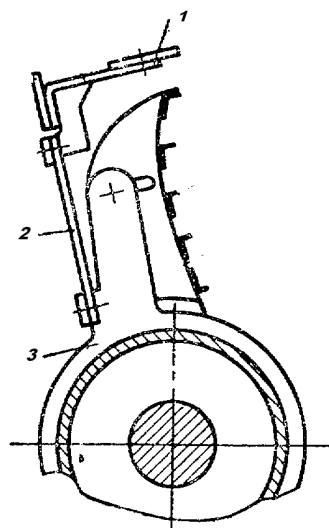


Рис. 1.21. Било с бильной планкой 1, расположенной на рессорном основании 2, скрепленном с осью барабана 3

Совершенствование процесса трепания за счёт внедрения в него элементов прочёса осуществлено еще в 1944 году И.Я. Лунёвым [18]. Им было предложено осуществлять прочёс сырца в трепальных машинах для распрямления прядей сырца. Автор предлагает осуществлять прочёс только вершинной части горсти сырца, поскольку вершинные концы являются более спутанными ввиду ветвистости соцветий. Для устранения спутанности, предложено устанавливать гребни (металлические планки с колками) на конусные части била трепального барабана (рис. 1.22).

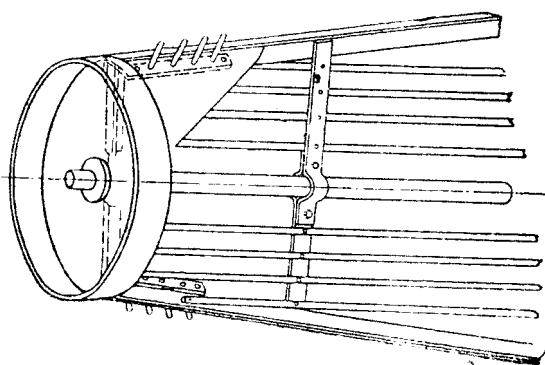


Рис. 1.22. Установка чесальных гребней на била трепального барабана

Известна конструкция барабана, предложенная авторским коллективом включающим В.В. Шухова. Чесание волокна, совмещённое с процессом его трепания, предложено также в авторском свидетельстве СССР № 1222718 [19]. Общий вид трепальных барабанов при взаимодействии со слоем сырца представлен на рис. 1.23.

С помощью делительных ребер 5, установленных по одному на каждом биле, предложенное решение позволяет делить пряди сырца на комплексы, встряхивать их, прочёсывать, соскабливать костру и качественно прорабатывать всю массу волокна, в том числе и в зонах утолщения. Это происходит благодаря трепальным барабанам, состоящим из несущего вала 1, крестовины 2, бильных планок 3, подбильных решёток и делительных рёбер 5. Эти рёбра соприкасаются с сырцом и разделяют его на автономные комплексы.

Однако при таких взаимодействиях, вероятно, в случае перемещения слоя концы прядей могут попадать в зоны между рёбрами и планками подбильной

решётки. В них могут происходить заклинивания и обрыв (обсечка) волокон. Поэтому данное решение требует совершенствования.

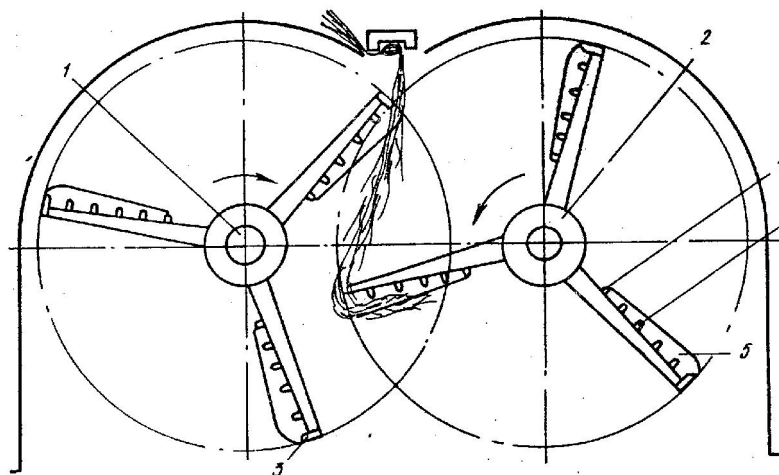


Рис. 1.23. Установка делительных рёбер на била трепального барабана
(А.С. СССР 1222718)

Для обеспечения постепенного ввода участков обрабатываемых прядей в поле трепания в отечественных трепальных машинах применяют козырьки постепенного ввода (рис. 1.24). Их использование особо актуально, например, при обработке длинностебельного сырья, такого как конопля, джут или кенаф.

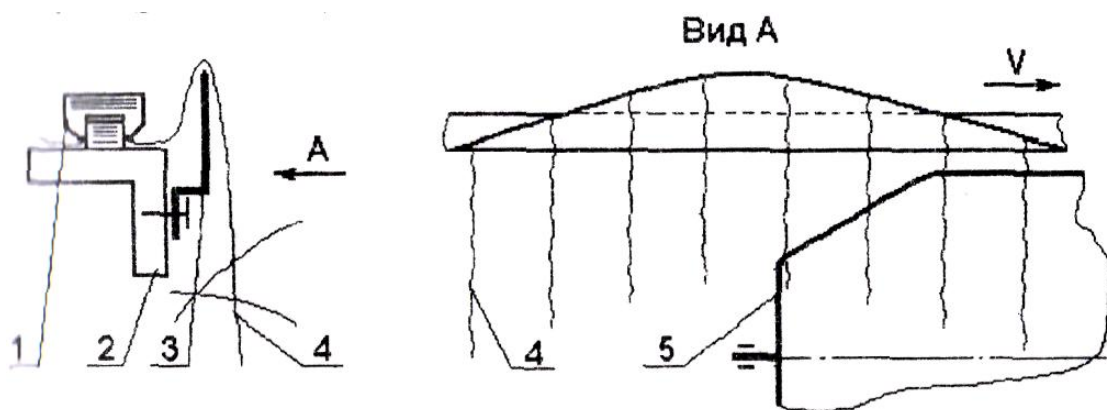


Рис. 1.24. Козырёк постепенного ввода сырца в поле трепания [20]

1 – Ремни зажимного транспортера; 2 – направляющая русла; 3 – козырёк постепенного ввода; 4 – пряди сырца; 5 – трепальный барабан

Особое внимание на практике уделяется надежности выполнения процесса трепания, определяющегося числом технологических простоев. Во многих

случаях они обусловлены возникновением намотов на шейки барабанов. Для исключения этого используют специальные входные воронки (рис. 1.25). Однако её применение выявило недостатки. При переработке различающихся по длине прядей, находящихся в одном слое, пряди поступают в поле трепания в виде дискретных порций, каждая из которых вводится под углом, что вызывает сгуживание прядей и косвенно увеличивает линейную плотность слоя. Несмотря на эти недостатки, входная воронка решает задачу по предотвращению намотов. Поэтому при совершенствовании конструкции данное обстоятельство следует учитывать.

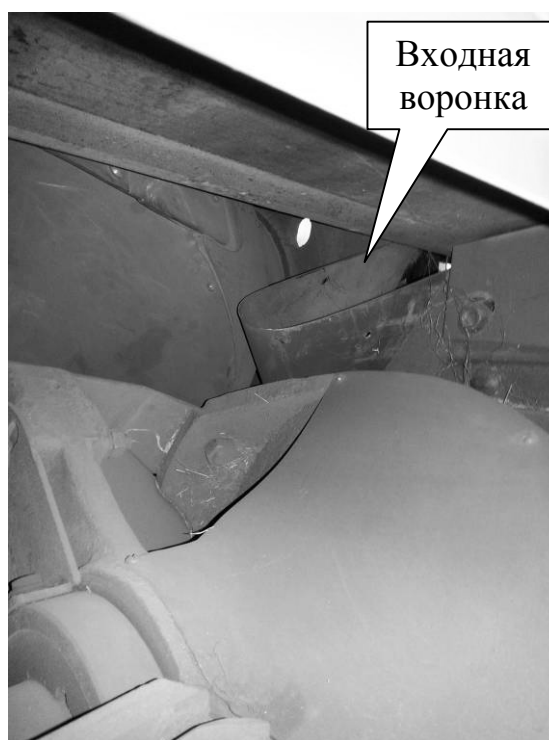


Рис. 1.25. Входная противонамоточная воронка на входе в секцию трепальной машины

Применительно к конструкциям остова машин следует отметить наличие специальных козырьков, которые также обеспечивают постепенный ввод сырца в поле трепания. Типичным примером может быть решение по Патенту РФ № 2186163 [21]. В данном патенте на начальных этапах трепания прядь отводится в сторону от центра поля трепания при помощи специальной направляющей 3, а

затем постепенно входит в зону обработки (рис. 1.26). Таким образом, сначала материал подвергается воздействию одностороннего трепания, после чего плавно вводится в поле двустороннего трепания. В этом случае пряжи будут распрямляться, что приведет к улучшению условий для освобождения сырца от насыпной костры. Кроме этого, будет снижена вероятность образования намотов волокна на конусные (входные) части трепальных барабанов.

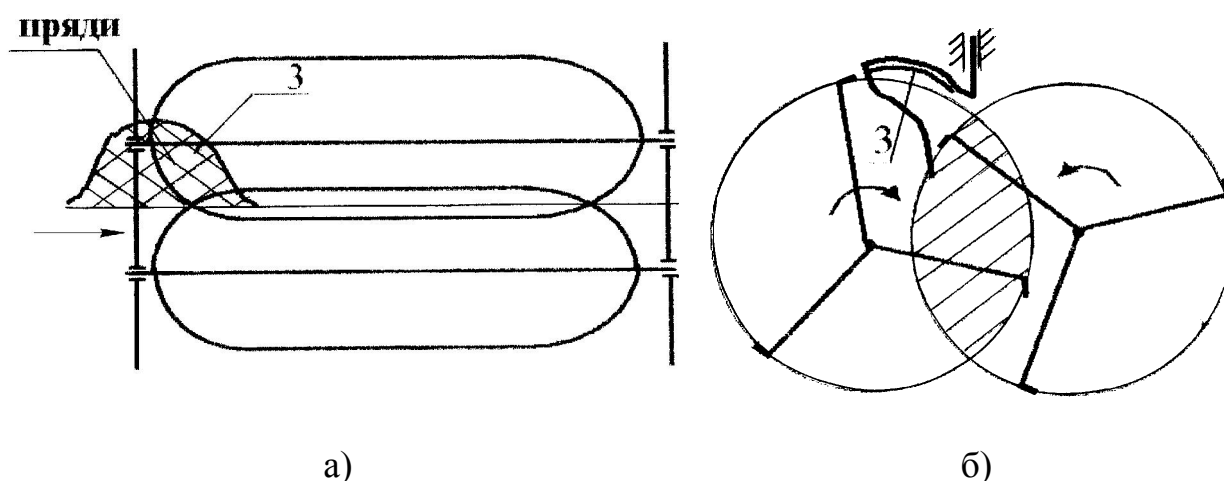


Рис. 1.26. Схема установки вводного козырька в начальной зоне трепальной машины (патент РФ № 2186163)[21]: а – вид сверху на трепальные барабаны; б – поперечный разрез трепальной секции в начальной зоне обработки.

Цифрой 3 обозначен вводный козырек.

Следует отметить, что существуют и иные решения, связанные с дифференциацией процесса трепания на начальных этапах, которые освещены в [5].

Анализ известных решений не выявил среди них описания оригинальных конструкций, в которых бы применяли барабаны с винтовым расположением бил и наличием конусной части. По нашему мнению, это обстоятельство требует более детального анализа, так как именно такое сочетание элементов конструкции применяется на практике.

По мнению Е.Л. Пашина созданием барабанов с винтовым расположением бил занимался НИИПОЛВ. Основными эффектами от их применения разработчики называли исключение одновременного воздействия всей длиной

била по слою, а также формирование реакции со стороны винтообразного била, способствующей перемещению слоя. При этом заключения и анализ по особенностям взаимодействия бил с прядями в условиях наличия конуса и винтообразных бил не известны.

Несмотря на это, применяемые в настоящее время на практике трепальные машины включают барабаны с винтовым расположением бил. Поэтому дополнительное их исследование с позиций выявления особенностей взаимодействия с прядями сырца с целью усиления технологических эффектов представляет интерес для теории и практики.

1.3. Обзор результатов теоретических исследований процесса трепания

Основы теоретических исследований (включая терминологию, касающуюся конструкции трепальных машин) были заложены Разуваевым А.А. [22]. Им были впервые введены такие понятия как поле трепания, его высота и ширина, двойной протрѣп.

Доброгурским С.О. [23] были впервые проанализированы силы, воздействующие на прядь в ходе огибания ей бильной планки, а также их влияние на процесс обескостривания. Однако анализ переносного движения пряди, равно как и поведения распрямленных участков пряди, не проводился.

Позднее существующие работы были обобщены Крагельским И.В. [24], который отметил, что костра отделяется от волокна вследствие сложных перемещений пряди и её слоёв друг относительно друга.

Значительные теоретические исследования процесса трепания были проведены Кузьминским А.Б. По мнению многих исследователей, результаты его изысканий следует признать наиболее значимыми для того периода времени. Впоследствии они были опубликованы в его книге «Теоретические основы процесса трепания»[25]. Используя многослойную модель пряди, он исследовал как явления, происходящие на кромке бильной планки, так и поведение распрямленных участков. Одним из положений этой работы являлось утверждение, что большая часть связанной костры располагается внутри прядей, а

потому при огибании заостренной прядью рабочей кромки била костринки либо изламываются, либо прокалывают прядь и выходят из слоя. Однако он же указал, что закругление рабочей кромки до радиуса, меньшего 1 мм, увеличивает риск разрушения волокон. Важным теоретическим положением был вывод о равнозначности технологических режимов, характеризующихся соотношением $K_1 * V_1^2 = K_2 * V_2^2$, где K – количество воздействий, а V – скорость вращения барабанов.

Используя предложенную теорию, Кузьминский А.Б. провел сравнительный анализ процессов трепания в машинах различных конструкций, в частности, ЛТ-1, ЛТ-2 и КЛТ-ВНИИЛ-А. Им были подробно изучены силы натяжения пряди и давления бильной планки на слой, а также их изменение в зависимости от режимно-конструктивных параметров процесса трепания. Помимо этого, автором исследовалось влияние аэродинамических процессов на характер трепания.

В 1960-е годы наиболее значимыми работами по вопросам трепания льна явились исследования Сулова Н.Н. [26,27]. Им было изучено поведение пряди с точки зрения кинематики и динамики, а также ряд экспериментальных исследований сил натяжения пряди [28,29] и потребляемой барабанами мощности [30,31,32]. Были использованы методы стробоскопии, тензометрии и ускоренной фотосъемки. В итоге исследованы зависимости силы натяжения пряди и силы давления кромки на волокно от следующих параметров: количество воздействий кромки на прядь; частота вращения трепальных барабанов; толщина слоя сырца; длина обрабатываемых прядей; толщина рабочей кромки; вылет бильной планки над плоскостью подбильной решетки; параметры планок подбильной решетки; очередность обработки частей стебля (комлевой и вершинной).

Значительный вклад Сулов Н.Н. внес в изучение аэродинамики – поведения воздушных потоков в зоне трепания и их воздействия на сырец. В частности, им было показано влияние воздушных потоков на образование намотов, и была высказана рекомендация работать на пониженных оборотах и устанавливать специальные противонамоточные U-образные желоба – воронки (см. выше) на входе в трепальную секцию.

По результатам своих исследований Суслов Н.Н. предложил применение двухбильных барабанов, что, по его мнению, должно способствовать уменьшению силы натяжения прядей за счет уменьшения числа кромок бил в поле трепания, взаимодействующих с прядями сырца.

В направлении совершенствования конструкции двухбильных барабанов и используемых в то время на практике МГА известны исследования Коновалова В.В. [33] Итогами его работы стали имитационная модель процесса трепания и предложение по установке козырьков на тыльную сторону била. Эти козырьки уменьшали длину свободного участка, перемещающегося на другое било, что уменьшало степень захлестывания и снижало натяжение, формирующееся на подбильной решетке.

Для случая одностороннего трепания Нероновым Н.А. [34,35,36,37] было указано, что влияние сопротивления воздуха на слой волокна на подбильной решетке пренебрежимо мало в сравнении с кориолисовой силой (порядка 2%).

Панов Д.Н. разделял [38] процесс удаления связанной костры на два этапа: отделение связанной костры от волокна и её переход на поверхность слоя. При этом интенсивность обоих процессов зависит от силы натяжения слоя, его толщины, смещения слоев относительно друг друга, а также радиуса рабочей кромки. Также Пановым Д.Н. были дополнены результаты исследований Неронова Н.А., хотя и без анализа роли возникающих ускорений при соприкосновении материала с подбильной решеткой.

Трифоновым В.Г. было произведено количественное исследование выделения отходов трепания по длине зоны трепания, и установлено существенное влияние способа (характера) введения сырца в поле трепания [39]. В частности, была дана рекомендация использовать комбинацию постепенного ввода и наличия конусных барабанов. Однако особенности каждого метода исследованы не были.

В основном разработки Трифонова В.Г. имели эмпирический характер. Однако, несмотря на это, автор предложил оригинальную методику исследований процесса трепания, включавшую в себя отдельное изучение процессов

обескостривания и разрушения волокна, применение метода обработки малых проб и методику оценки эффективности процесса трепания по количеству и качеству выделяемых отходов. В результате им было установлено, что:

- до 60% отходов трепания выпадает в первой трети длины трепальной секции;
- основная причина потерь волокна – высокая разрушающая способность отдельных воздействий;
- интенсивность процесса обескостривания прямо пропорциональна частоте вращения трепальных барабанов;
- число воздействий и частота вращения барабанов по-разному влияют на эффективность процесса обескостривания. Увеличение частоты вращения ускоряет процесс разрушения волокна в большей мере, нежели увеличение числа воздействий.

На основании этих результатов Трифонов В.Г. рекомендовал регулировать процесс трепания за счет увеличения частоты вращения трепальных барабанов.

Весомый вклад в развитие теории и практики процессов обескостривания льна внес Левитский И.Н. [40]. Им впервые предложено рассматривать исследуемые процессы, как случайные.

Силы, воздействующие на составные части трепальной машины и её динамику, рассматривал в своих работах Савиновский В.И.[41, 42, 43, 44, 45, 46].

Автором были изучены:

- кинематика слоя при двустороннем трепании и ее зависимость от параметров рабочих органов трепальных машин;
- динамика слоя (с анализом силовых факторов) при одно- и двустороннем трепании с учетом переносного движения бильных кромок и свойств обрабатываемого сырья;
- динамика трепальных машин;
- взаимосвязь динамических параметров рабочих органов трепальных машин с технологическими параметрами процесса трепания.

Важными для развития теории процесса явились его экспериментальные исследования, выполненные с применением специально созданного трепального станка [47]. С его помощью получены ценные данные об изменении свойств сырца при обработке [48].

Значительный вклад в развитие теории процесса трепания льна внесли Кузнецов Г.К.[49], Ипатов А.М.[50], Корабельников Р.В.[51], Янушевский Д.А.[52], Дьячков В.А.[53], Разин С.Н.[54] и др.

Важными для теории процесса трепания явились теоретические разработки Лапшина А.Б. и Пашина Е.Л. [55].

Следует отметить, что в докторской диссертации Лапшина А.Б. впервые разработаны: модель взаимодействия рабочей кромки била с идеально гибкой прядью при наличии в ней жесткого элемента; модель захлестывания участка пряди за бильную планку; модель поперечных колебаний распрямленных между кромками бил участками прядей. Разработана методика оценки влияния продольных и поперечных колебаний на величину кинетической энергии свободного участка пряди при его переходе с одного била на другое. Разработаны критериальные уравнения процесса трепания, обосновывающие необходимость учета соотношений свойств сырья и конструктивных параметров машин для повышения эффективности методов их проектирования и исследования.

Важным результатом его исследований явилась разработка методов комплексной оценки эффективности трепальных воздействий и прогнозирования выхода длинного волокна.

Важной с точки зрения формирования нетрадиционного представления о перемещении обрабатываемой пряди явилась работа Гришина Г.А., в которой предложены основы для создания дискретной модели пряди как совокупности элементарных звеньев [56]. На последующих этапах это направление было развито Бойко С.В., Волковым Д.А. и Пашиным Е.Л. [2, 57].

В докторской диссертации Бойко С.В. [58] была исследована механика поведения пряди. Автором, в развитие идей, изложенных в [59], усовершенствована, обобщена и исследована дискретная модель пряди, как

совокупности элементарных звеньев. На основании этой модели Бойко С.В. в своей диссертации показано, что поведение пряжи в поле трепания и её форма может кардинально меняться в зависимости от её длины и условий трепания. Помимо этого, ею было изучено влияние подвижной тыльной кромки на эффективность трепания.

1.4. Анализ исследовательских работ по изучению формы трепальных барабанов и бил, а также особенностей перемещения свободных участков прядей от бил одного барабана к другому

Лапшин А.Б. и Пашин Е.Л. в работах [55, 60] рассмотрели причины возникновения потерь волокна в процессе трепания. Согласно выводам авторов порядка 30% отходов формируются вследствие взаимодействия прядей сырца с рабочими органами трепальной машины. В частности, среди причин обрыва волокно были указаны дефекты слоя, такие как перекося прядей, неоднородность прядей и неровнота прядей по толщине. При этом Лапшиным А.Б. было показано, что сила натяжения, формируемая вследствие взаимодействия с подбильной решеткой, имеет более сложную многофакторную зависимость в сравнении с принятыми ранее представлениями.

Лапшин А.Б. особое внимание уделил оценке влияния дефектов слоя на силы натяжения прядей. Согласно его расчетам, для трехбильных барабанов усилия в перекрещенных прядях могут в 2,9 раза превышать регистрируемую силу натяжения слоя, а неоднородность прядей может приводить к её увеличению до 1,8 раз.

К перекрещиванию прядей могут приводить условия перемещения слоя в конусной части трепальных барабанов. Это было показано в работах Лапшина А.Б., Пашина Е.Л. и Вихарева С.М. [61]. Однако полученные результаты относятся к условиям, когда бильные планки расположены на барабанах параллельно оси их вращения.

Можно полагать, что при использовании барабанов с винтовым расположением бил указанное перекрещивание будет увеличиваться, так как в

указной статье геометрический анализ проводили посредством рассмотрения проекций бил на горизонтальную плоскость [61]. Кроме этого, предложенная авторами модель не только рассматривается исключительно в проекции «вид сверху», но и является строго статичной – фактически, рассматривается протягивание материала сквозь неподвижные била. При этом игнорируется продольная составляющая силы реакции, действующей на материал со стороны бил в конусной части барабана. Важно отметить, что авторами рассматривалась только конструкция барабана с прямолинейными билами, тем самым оставляя без внимания факт винтообразной формы бильных планок.

Впервые кинематические характеристики процесса трепания бильными планками винтообразной формы были рассмотрены в работах Савиновского В.И.[62]. Однако какого-либо обоснования выбора угла подъема винтообразных планок им предложено не было. Более того, в работе автора был сделан акцент на конструкцию барабана цилиндрической формы с прямолинейными наклонными бильными планками. Такая форма планок обладает существенным недостатком. В случае использования планок, закрепленных по прямой линии, будет наблюдаться седлообразное уменьшение радиуса барабана в его средней части.

Используя математические зависимости автора, расчет, проведенный нами с их использованием, показал следующее. При величине угла наклона планок относительно оси барабана 10 градусов (случай для применяемых на практике винтообразных барабанов с их радиусом у торцов 37 см) радиус в срединной части барабана уменьшается примерно на 2 см. Если угол наклона планок будет больше, то указанное уменьшение радиуса будет более выражено, что показано на рисунке 1.27.

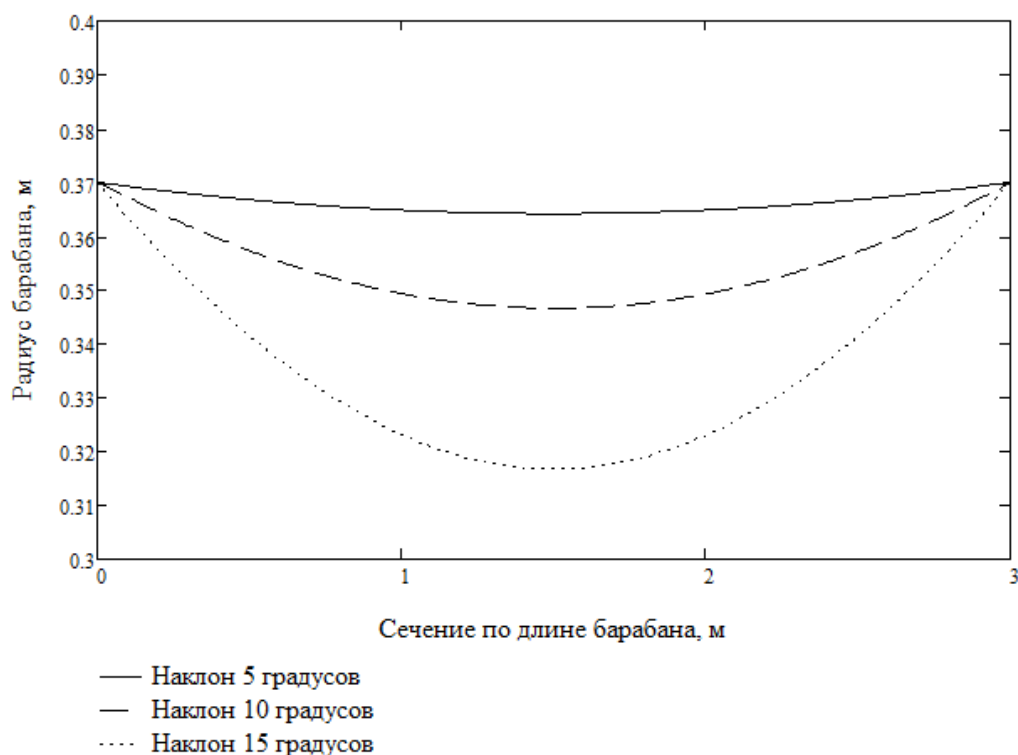


Рис.1.27. Изменение радиуса барабана, оснащенного наклонными прямолинейными бильными планками

Поэтому результаты анализа автора не могут быть использованы в условиях принятых им допущений при изучении или проектировании барабанов с винтообразными билами. Дело в том, что с точки зрения технологии обработки образование указанного «седла» приводит к значительному увеличению минимального зазора между ограждениями трепальной машины а и б и траекторией перемещения бил (см. рис. 1.28) [6]. Применительно к используемым агрегатам указанные зазоры должны соответствовать отраслевым рекомендациям, представленным в таблице 1.2. При использовании прямых бил, установленных под углом, будет возникать следующая ситуация. После окончания длины конусного участка барабана (примерно на длине 0,8 м) его радиус составит 0,358 м, но далее он будет уменьшаться, что не согласуется с требованиями технологии.

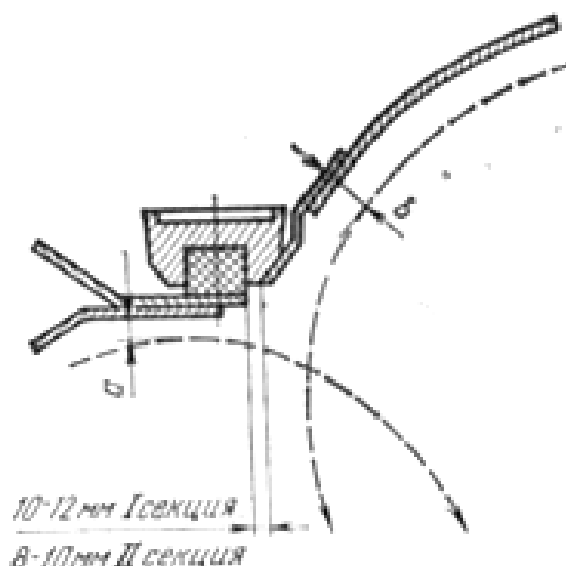


Рис. 1.28. Схема замеров технологических зазоров

Таблица 1.2. – Величина рекомендуемых технологических зазоров

Место замера зазоров у барабанов	Обозначение (см. рис. 64)	Агрегат МТ-100-Л			Агрегат МТ-100-Л1	Агрегат МТА-1Л
		в начале	в середине	в конце		
Правого I секция	<i>b</i>	—	26	8	} 8—10*	12—15*
Левого I секция	<i>a</i>	—	28	10		
Правого II секция	<i>a</i>	44	28	10	} 8—10*	12—15*
Левого II секция	<i>b</i>	44	26	8		

* Зазоры в местах максимальных диаметров барабана.

Дополнительным подтверждением необходимости сохранения требуемых технологических зазоров является анализ, проведенный на основе опубликованных исследований Разина С.Н. и Пашина Е.Л. [54]. Авторами получена геометрическая модель формирования угла обхвата кромки била от ряда параметров, в том числе и от расстояния от зажима до кромки Н (таблица 1.2). С её помощью можно приближенно оценить влияние сопутствующего изменения расстояния от кромки била до зажима путем оценки изменения составляющей α_2 угла обхвата прядью первой рабочей кромки в зависимости от изменения промежутка Н по длине барабана:

$$\alpha_2 = \arcsin \left(\frac{r}{\sqrt{H^2 + (vt - r + R)^2}} \right) + \arctan \left(\frac{vt - r}{H} \right), \quad (1.1)$$

где H – расстояние от зажима до кромки, r – радиус кромки, R – радиус кривизны зажима, vt – положение кромки по горизонтали относительно точки зажима.

Воспользуемся данной зависимостью. Учитывая изменение величины H по длине барабана, и приняв положение пряди vt в момент удара равным R , получим следующую картину изменения угла обхвата по длине барабана для наклонных бильных планок (рис. 1.29).

Как видно из графика, уменьшение радиуса барабана, вызванное наклоном бильных планок, приводит к значительному изменению углов обхвата прядью кромки. Используя известный закон Эйлера, такое уменьшение угла обхвата рабочей кромки приводит к уменьшению сил натяжения (рис. 1.30), приводящему к ухудшению процесса обескостривания.

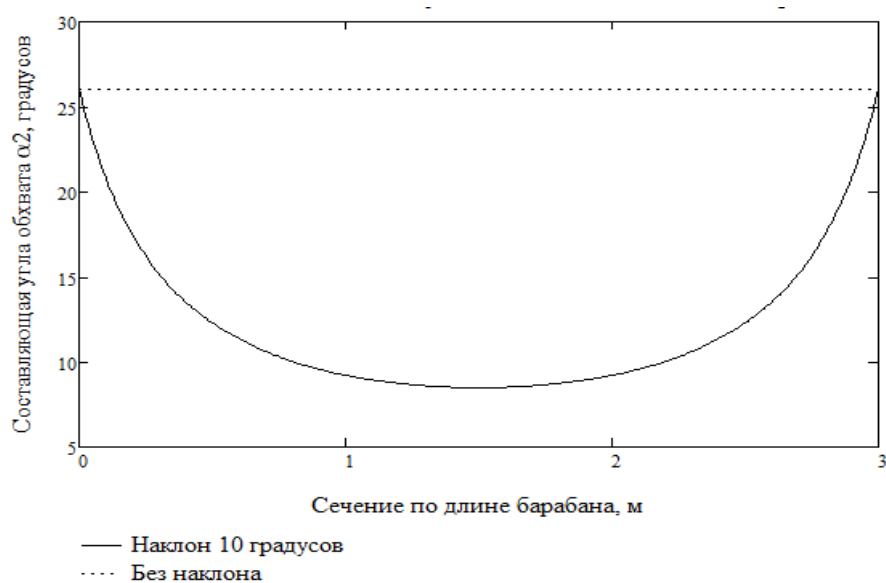


Рис. 1.29. Изменение составляющей α_2 (угол между лопастью барабана и набегающей ветвью пряди) по длине барабана при прямолинейном наклонном расположении бильных планок

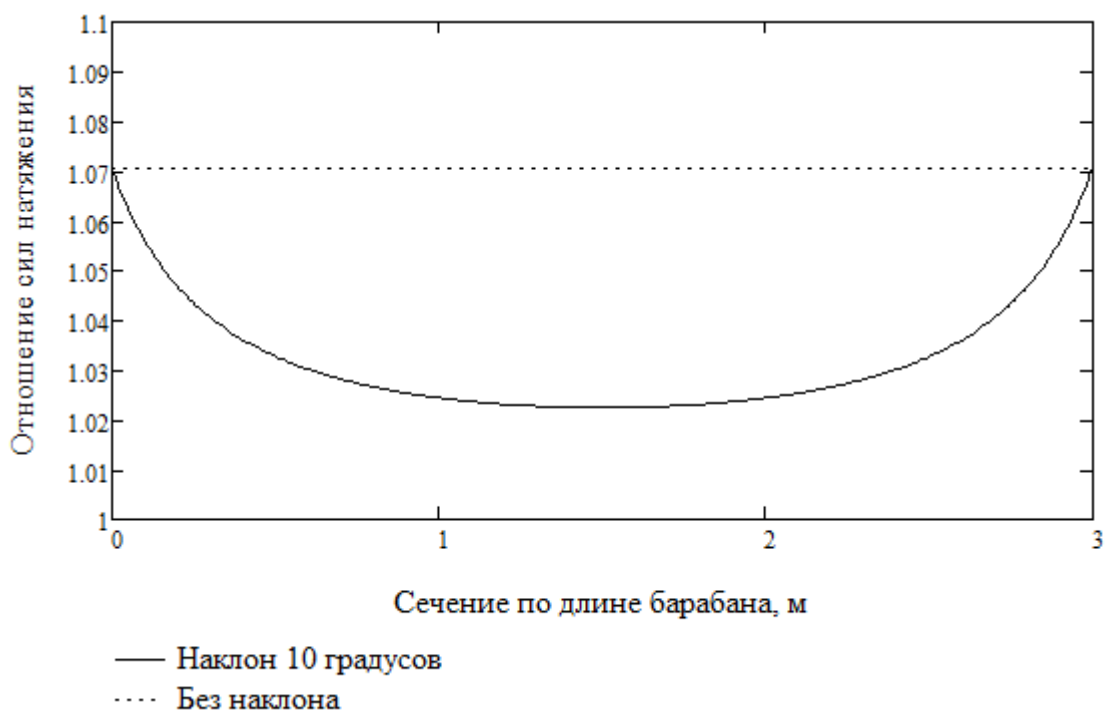


Рис. 1.30. Отношение силы натяжения сбегавшей ветви к силе натяжения набегающей

Из проведенного анализа следует, что выводы в работе Савиновского В.И. при изучении барабана с винтовым расположением бил, при принятых им допущениях, требует дополнительного изучения. Это основано на том, что бильные планки в его работах предусмотрено закрепление планок по прямой линии, то есть не так, как это имеет место быть на практике.

Применительно к предмету нашего исследования представляет интерес работа Ипатова А.М. [14]. Им также была отмечена необходимость дифференциации процесса трепания, вследствие резкого различия свойств сырца в начале и в конце трепания, используя постоянство величины силы натяжения как критерий. На этом основании он предложил упрощенное обоснование формы конусной части барабана для выравнивания сил натяжения по его длине.

Однако его модель формирования силы натяжения опиралась на допущение о постоянстве длины свободного участка пряжи, взаимодействующего с подбильной решеткой. Это допущение является неверным для барабана переменного радиуса. Кроме того, как было показано выше, изменение радиуса барабана приводит к изменению углов обхвата кромки пряжью, что также

изменяет величину силы натяжения. Таким образом, модель Ипатова А.М. требует уточнения, но в грубом приближении её можно пользоваться для объяснения ряда технологических эффектов. Согласно его результатам радиус барабана должен изменяться по зависимости, представленной на рисунке 1.31 [63].

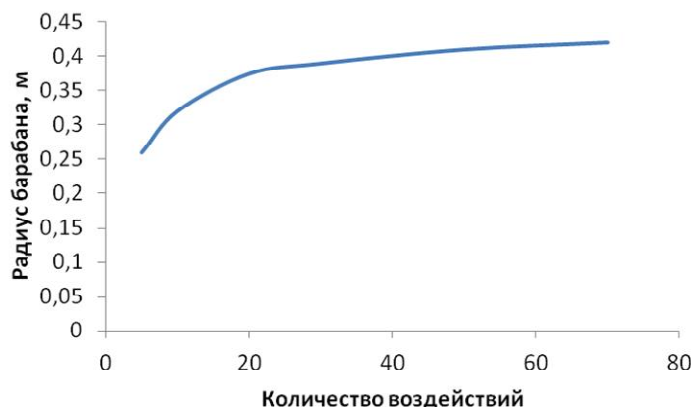


Рис. 1.31. Изменение радиуса барабана от количества воздействий на материал в процессе трепания

Из работ Ипатова А.М и других авторов следует общепринятое заключение: сила натяжения прядей сырца наиболее велика в начальной части трепальной секции. Поэтому нами было принято решение сосредоточиться на изучении взаимодействий пряди и бил барабанов в этой зоне трепальной машины.

Взаимодействие прядей с билами предопределяет характер их перемещения с била на било. В работе [2] было показано, что процесс перемещения имеет сложный характер. Это зависит от длины прядей и времени начала схода свободных участков с бил и их геометрического положения. С помощью моделирования было показано, что поведение прядей в ходе перелета с одного била на другое может кардинально меняться (рис. 1.32). На графике положительные значения параметра C соответствуют условию подвода пряди под удар противоположного барабана (знак +) или отводу – (знак -).

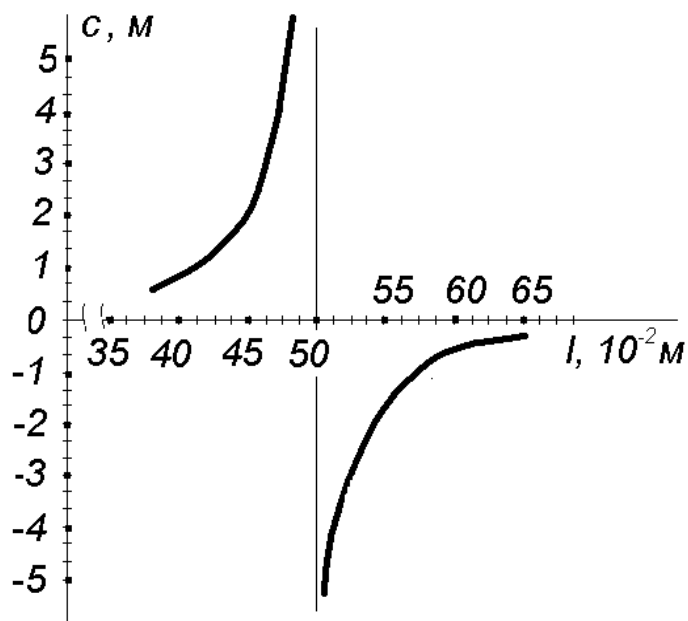


Рис. 1.32. Зависимость параметра C , характеризующего поведение пряжи при перелете, от длины пряжи [63]

Подобные различия в поведении пряжей приводят к различному формированию сил натяжения в них, что может являться причиной снижения выхода длинного волокна.

Более подробное рассмотрение условий и закономерностей перемещения было начато в работах Лапшина А.Б., Пашина Е.Л., Гришина А.Г., Разина С.Н. Однако более детально этот вопрос изучен Бойко С.В. и Волковым Д.А. [58, 64]. Это осуществлено с использованием дискретной модели пряжи как совокупности упруго растяжимых элементов. Всестороннее исследование автора позволило обеспечить моделирование перемещения пряжи при её «перелете» с била на било. Создана программа для визуализации этого процесса. Констатировано наличие сложных явлений, которые определяют положение точек пряжей в плоскости её перемещения. Таким образом, авторами предложено, что при рассмотрении процесса трепания не следует считать перемещение пряжи мгновенным, как это делали все исследователи при построении своих математических моделей.

К недостаткам работ Бойко С.В. и Пашина Е.Л. и Волкова Д.А. [65] следует отнести то, что указанные авторы изыскания проводили при рассмотрении плоской задачи, то есть рассматривали перемещения пряжи в плоскости, перпендикулярной оси барабана. Однако движение в продольной плоскости

требует дополнительного изучения, особенно в связи с работами Енина М.С., Маянского С.Е. и Пашина Е.Л. Изучая одностороннее трепание и влияние тыльных планок, в диссертации Енина М.С. рассматривается взаимодействие материала с тыльной кромкой бильной планки непрямолинейной формы для случая одностороннего трепания. При этом автор указывает на существование углового отклонения пряжи в продольном сечении барабана, образующее сгруживание прядей. Однако автор рассматривает этот процесс только применительно одностороннему трепанию и в тыльной зоне била, тогда как большинство современных трепальных машин основаны на принципе прямого двустороннего трепания. Также им не рассматривается влияние на процесс сгруживания наклонных или винтообразных бильных планок в начальной зоне трепания при наличии у барабанов конуса.

Таким образом, в результате проведенного анализа опубликованных источников по проблеме трепания льна было установлено следующее.

Разработкой техники для получения трепаного волокна и совершенствованием этого процесса занимались многие исследователи. Создана солидная научно-техническая основа, обеспечивающая возможность для совершенствования и дальнейшего развития в этой области. Однако были выявлены и нерешенные вопросы, без изучения которых будет затруднен обоснованный выбор технологических режимов и конструкций, связанных с процессом трепания льна.

Это касается особенностей трепания барабанами с бильными планками, установленными под углом к оси вращения барабанов и при наличии конусной части барабанов. Последнее важно с точки зрения того, что конусный участок является начальным по ходу перемещения слоя и поэтому силы натяжения прядей на этом этапе будут максимальными.

Исследования по выявлению рациональной величины угла винта, а в конусной части сочетания углов винта и конуса, должны быть ориентированы на особенности перемещений свободных участков пряжи в поле трепания. Установлено, что каких-либо изысканий с такой постановкой задачи не

проводилось. Это не позволяет считать применяемые на практике конструкции барабанов с винтовым расположением бил наилучшими.

Этот вывод и был положен в основу нашей программы исследований, основной целью которых является увеличение выхода длинного волокна посредством совершенствования конструкции трепального барабана с винтовым расположением бил и конусообразной вводной частью. Для достижения этой цели, наряду с задачей по представленному выше обзору опубликованных источников по изучаемой теме, были поставлены следующие укрупнённые задачи:

- Изучение особенностей поведения пряди сырца в поле трепания машин с винтовым расположением бил и конусообразной формой вводной части барабана, путем разработки математических моделей поведения (перемещения) пряди в поле трепания и их исследования.
- Экспериментальное подтверждение основных теоретических положений и при необходимости уточнение теоретических положений относительно изучаемого процесса.
- Разработка рекомендаций по совершенствованию конструкции, предложений для практики и оценка их технологической и экономической эффективности

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ТРЕПАНИЯ ЛЬНЯНОГО СЫРЦА БАРАБАНАМИ С ВИНТОВЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ БИЛ И НАЛИЧИЕМ КОНУСНОЙ ЧАСТИ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ПРЯДЕЙ

Необходимость проведения данных исследований была обусловлена недостаточной степенью изученности процесса трепания с применением барабанов, которые используются в трепальных машинах существующих агрегатов МТА-2Л. Их конструкция предусматривает наличие конусной части барабанов при входе сырца в зону трепания и винтообразное расположение бил.

В первой главе указаны источники информации, в которых в определённой степени затрагиваются вопросы, связанные с указанными конструктивными параметрами. Так, в работе Савиновского В.И. [66] проведено исследование кинематических параметров. Однако выбранное автором расположение бил на барабанах не соответствует конструкции, используемой в настоящее время. Била приняты как прямолинейные и поэтому диаметр цилиндрической части барабана являлся переменной величиной.

Ипатов А.М. в [14] представил обоснования параметрам конусной части барабана, исходя из обеспечения с его помощью постоянства сил натяжения прядей в этой зоне трепания. Однако при исследованиях приняты допущения, исключаящие влияние взаиморасположения кромок и пряди. При таких подходах получаемые оценки являлись приближёнными, объясняющие общие аспекты силового нагружения.

Вихарев С.М. под руководством Пашина Е.Л. и Лапшина А.Б. [61] исследовал особенности прохождения слоя сырца в поле трепания в конусной части барабанов. Результаты получали исходя только из условий трения прядей

относительно кромок бил без учета условий натяжения прядей и угла подъема винтовой линии бильной планки. Было выявлена цикличность перемещения прядей из-за изменчивости условий, обеспечивающих движение слоя. Однако при этом исследуемые условия трения оценивали по проекциям сил на горизонтальную плоскость, что давало приближенные результаты. Не учитывали также динамику взаимодействия прядей с билами барабаном. Такие упрощения позволяют считать достигнутые результаты неточными.

Следует упомянуть работу Веселова В.И. [66], который, исследуя условия ввода конопляного сырца в поле трепания, выявил недостатки применения конусной части трепальных барабанов. Для их замены автор рекомендовал использование узла постепенного ввода прядей сырца в поле трепания.

В работе [67] Енина М.С. было высказано предположение о существовании явления сгуживания пряди в процессе одностороннего трепания в условиях движения слоя сырца при определенном расположении тыльных кромок бил барабанов. Под сгуживанием автор понимал отклонение в вертикальной продольной плоскости сферы трепания участка пряди между зажимом и точкой контакта с билом. Было отмечено, что такие отклонения вызывают утолщение слоя и, как следствие, увеличение натяжения прядей и ухудшение условий их обескостривания. Эта гипотеза, очевидно, в равной степени применима и к двустороннему трепанию.

Таким образом, было сделано заключение о недостаточном изучении процесса трепания применяемыми на практике барабанами с наличием конусного участка и с винтовым расположением бильных планок. Вероятно, их разработка во НИИПОЛВ (г. Минск) происходила в основном на основе эмпирических знаний, а впоследствии совершенствовалась по результатам эксплуатации барабанов на льнозаводах. Известны лишь аргументы специалистов, объясняющие положительную роль винтового расположения бил. При ударе по слою возникающие силы формируются по длине барабана не одновременно. При этом возникающая составляющая сил вдоль длины барабана способствует снижению затрат на перемещение слоя, т.к. бильная планка ударяет по слою не

всей своей кромкой, а небольшой своей частью по причине винтовой формы планки.

В этой связи была поставлена задача по более детальному изучению процесса двухстороннего трепания с применением винтовых барабанов, на начальном участке длины которых имеется конусная часть.

2.1. Анализ поведения участка пряжи у зажима

Наибольший интерес при этом представляет упомянутое явление сгруживания, которое, по нашему мнению, способствует увеличению линейной плотности слоя и, как следствие, – обрывности прядей.

Предпринятый анализ [68] при расчёте угла сгруживания ψ_l (рис. 2.1) был проведён с учётом ряда допущений. Считаем, что на положение участка пряжи от точки зажима до точки удара билом не влияют остальные участки пряжи. Кромка бильной планки моделируется идеальной математической спиралью на боковой поверхности цилиндра или конуса (в зависимости от рассматриваемой части барабана), образуя винтовой угол. Участок пряжи от точки зажима до точки удара считаем прямолинейным, воздействие сил сопротивления воздушных потоков не рассматриваем. Не учитываем также толщину пряжи и ширину бильной планки.

Рассмотрим расчётную схему трепального барабана (рис. 2.1 и рис. 2.2). Оси Ox , Oy – соответственно горизонтальная и вертикальная оси в его крайнем левом (начальном) поперечном сечении, Oz – ось вращения трепального барабана (рис. 2.1). Для каждой пряжи в поле трепания будем определять положение её верхнего участка (у зажима) в зависимости от угла поворота била φ . Принимаем, что в момент нахождения точки зажима пряжи на расстоянии L_i от начала координат, начальным является тот момент времени ($t = 0$), когда било занимает положение, соответствующее входу рабочей кромки в поле трепания (рис. 2.2).

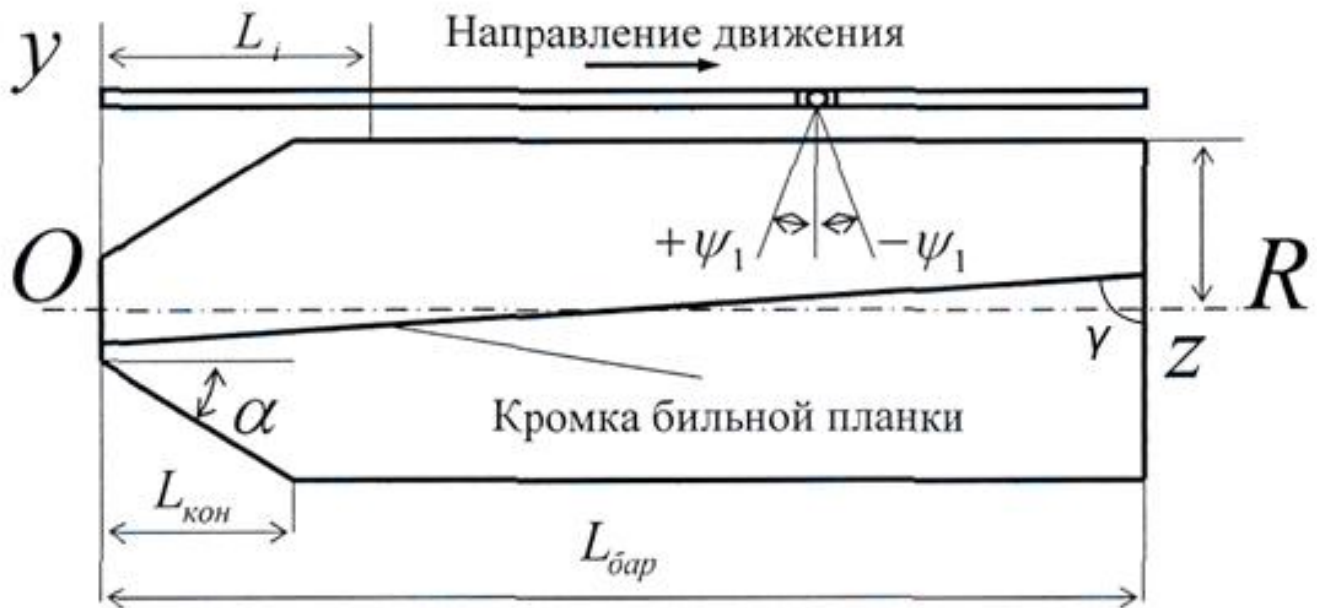


Рис. 2.1. Геометрические параметры барабана

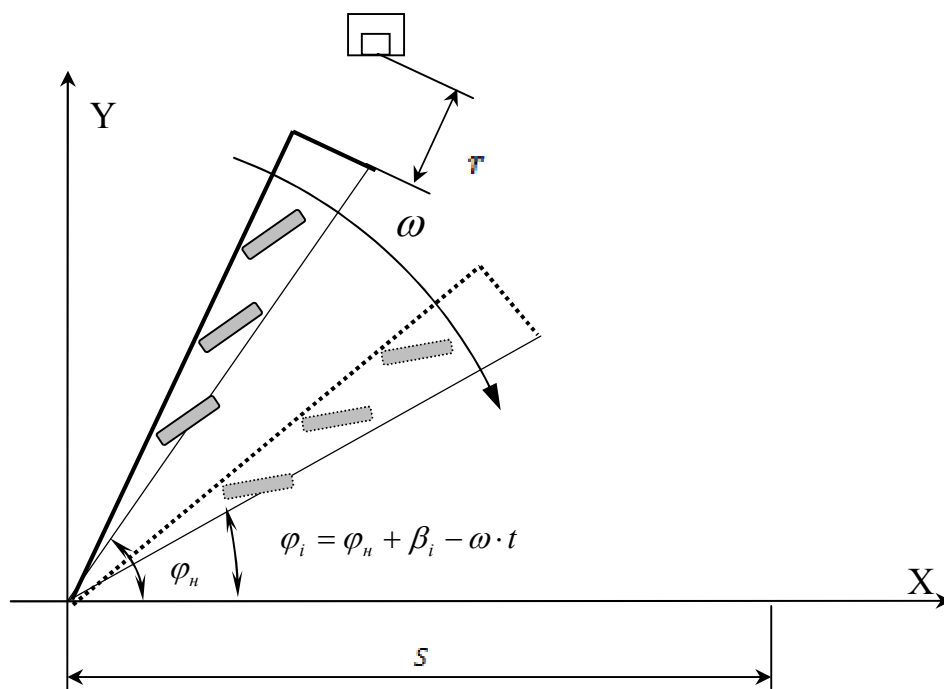


Рис. 2.2. Схема i -го поперечного сечения барабана

Текущий момент времени (время поворота била в рассматриваемом i -ом поперечном сечении барабана на угол $\varphi(t)$, прошедшее с момента удара) определяем, считая вращение барабана равномерным, по известной формуле:

$t = \frac{\varphi(t)}{\omega}$, где ω – угловая скорость вращения барабана.

Относительное смещение угловой координаты рабочей кромки била в крайних торцевых сечениях барабана определяем следующим образом:

$$\beta = \frac{L_{\text{бap}}}{R \operatorname{tg} \gamma},$$

где $L_{\text{бap}}$ – длина барабана;

R – радиус цилиндрической части барабана;

γ – угол подъема винтовой линии кромки бильной планки (рис. 2.3).

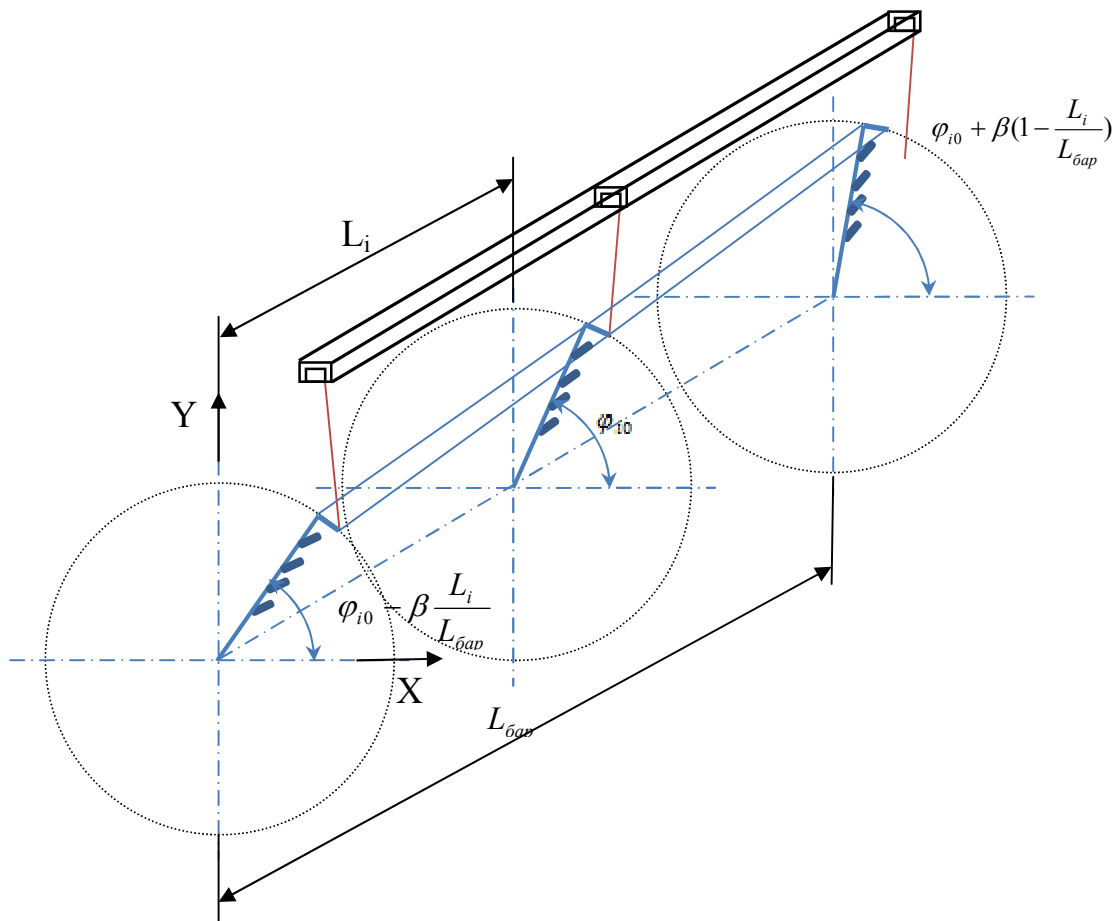


Рис. 2.3. Положение бил в сечениях трепального барабана

В этих условиях координаты точки зажима рассматриваемой пряди при её перемещении вдоль барабана в момент времени t (рис. 2.3) будут следующими:

$$x_3 = \frac{S}{2}; y_3 = \sqrt{(R+r)^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}; z_3 = v_{mp} \cdot t + L_i,$$

где S – межосевое расстояние трепальных барабанов;

r – расстояние от точки зажима до точки удара;

v_{mp} – скорость перемещения зажимного транспортёра;

L_i – координата по оси Oz точки зажима рассматриваемой пряди в начальный момент времени.

Исходя из предположения, что, вследствие действия сил натяжения, прядь стремится занять положение, перпендикулярное кромке бильной планки (винтовой линии), определим положение участка пряди (её точки зажима и точки взаимодействия с кромкой била), в условиях одновременного перемещения точки зажима пряди и поворота била.

С этой целью разобьем линию кромки била на n равных элементарных участков длиной

$$dz = \frac{L_{бар}}{n \sin \gamma}.$$

За вектор i -го участка примем вектор, соединяющий i -ую точку с $(i-1)$ -ой точкой. Для каждого i -го участка определим угол между вектором этого участка и вектором, проведенным от i -ой точки к точке зажима. Для этого для каждого i -го поперечного сечения вычислим радиус барабана и координаты кромки била в i -ом сечении:

$$R_i = \begin{cases} R - (L_{кон} - \frac{L_{бар}}{n} i) \operatorname{tg} \alpha, & \text{при } \frac{L_{бар}}{n} i < L_{кон} \\ R, & \text{при } \frac{L_{бар}}{n} i \geq L_{кон} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$x_i = R_i \cdot \cos(\varphi_n + \beta_i - \varphi(t)), \quad y_i = R_i \cdot \sin(\varphi_n + \beta_i - \varphi(t)), \quad (2.2)$$

где R_i – радиус барабана в i -ом сечении;

$\varphi_n = \arccos \frac{S}{2R}$ – угловая координата била, при котором рабочая кромка била входит в зону поля трепания в нулевом (начальном торцевом) сечении (см. рис. 2.3);

$\beta_i = \frac{\beta}{n} i$ – взаимное угловое смещение сечения относительно начального торцевого сечения.

Текущую угловую координату била будем определять по формуле:

$$\varphi_i = \varphi_n + \beta_i - \omega \cdot t. \quad (2.3)$$

Очевидно, что указанные выражения координат x_i и y_i позволяют для каждого момента времени t определить следующие характеристики:

- координаты вектора, касательного к кромке била:

$$l_{1i} = x_i - x_{i-1}; \quad m_{1i} = y_i - y_{i-1}; \quad w_{1i} = z_i - z_{i-1}; \quad (2.4)$$

- координаты вектора, проведенного от i -ой точки бильной планки к точке зажима:

$$l_{2i} = x_3 - x_i; \quad m_{2i} = y_3 - y_i; \quad w_{2i} = z_3 - z_i; \quad (2.5)$$

- угол между векторами касательной к кромке била (2.4) и вектором, проведенным от i -ой точки бильной планки к точке зажима (2.5):

$$\tau_i = \arccos \frac{l_{1i} \cdot l_{2i} + m_{1i} \cdot m_{2i} + w_{1i} \cdot w_{2i}}{\sqrt{l_{1i}^2 + m_{1i}^2 + w_{1i}^2} \cdot \sqrt{l_{2i}^2 + m_{2i}^2 + w_{2i}^2}}. \quad (2.6)$$

Далее, из совокупности элементарных участков определяем тот участок, для которого искомый угол τ_i равен 90° . Для него определим угол между вектором, проведенным от точки взаимодействия участка пряжи с кромкой била к точке зажима, и плоскостью поперечного сечения барабана, содержащую точку зажима:

$$\varepsilon_i = \arctg \left(\frac{z_i - z_3}{y_3 - y_i} \right). \quad (2.7)$$

Это выражение будет определять угол отклонения участка пряжи у зажима от поперечного сечения барабана, проходящего через точку зажима, то есть угол сгуживания пряжей в слое без учёта сил трения пряжи о кромку била.

Однако не вызывает сомнений, что прядь за счёт сил трения будет отклоняться в сторону, противоположную перемещению точки зажима. Поэтому, принимая условие зависимости силы трения от натяжения пряжи, введем к определению значения ε_i корректирующую поправку $\Delta\psi$.

Для учёта влияния сил трения предполагаем, что прядь скользит по кромке бильной планки без ускорения, а значит, сила трения и тангенциальная составляющая силы натяжения уравниваются друг друга:

$$k_{mp} \cdot F_N = F_T \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \psi_{\phi 1}\right)$$

где k_{mp} – коэффициент трения пряжи по кромке била,

F_N – величина силы нормального давления била на прядь,

F_T – величина силы натяжения пряжи в зажиме,

$\psi_{\phi 1}$ – угол отклонения пряжи.

Отсюда:

$$\Delta\psi_1 = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{k_{mp} \cdot F_N}{F_T}\right). \quad (2.8)$$

Изменения усредненных сил натяжения T и сил давления на кромку N по длине барабана известны из исследований Лапшина А.Б. [55]:

$$T = \begin{cases} 0,5994 \cdot z_3^3 + 0,0923 \cdot z_3^2 - 0,1857 \cdot z_3 + 0,4215, & \text{при } z_3 < l_k, \\ -0,0008 \cdot z_3^3 + 0,0229 \cdot z_3^2 - 0,1244 \cdot z_3 + 0,6331, & \text{при } z_3 \geq l_k \end{cases}$$

$$N = \begin{cases} 0,4691 \cdot z_3^3 - 0,0652 \cdot z_3^2 - 0,0824 \cdot z_3 + 0,1757, & \text{при } z_3 < l_k, \\ -0,0093 \cdot z_3^3 + 0,0645 \cdot z_3^2 - 0,1546 \cdot z_3 + 0,3277, & \text{при } z_3 \geq l_k \end{cases}$$

где Z_3 – координата точки зажима по длине барабана.

Согласно этого, искомый угол сгруживания ψ_1 будет определяться с учётом знака (см. рис. 2.1) по формуле: $\psi_1 = \varepsilon \pm \Delta\psi_1$.

Однако, на эффективность процесса трепания может оказывать влияние расположение последующих по высоте поля трепания (ниже лежащих) участков прядей. Поэтому дальнейшей задачей явилась оценка угла наклона прядей, одновременно соприкасающихся с соседними кромками бил, следующими ниже линии зажима.

При решении этой задачи использовали допущения, указанные выше. В целях уменьшения нестабильности решения на границе конической и цилиндрической частей трепального барабана, переходную зону между этими участками описывали как сегмент окружности радиусом, численно равным радиусу цилиндрической части барабана $R_{бар}$ и с центром, лежащим на оси барабана. При этом образующие цилиндрической и конической частей являются касательными к данной окружности.

В основу расчётов положили представленную выше последовательность математических зависимостей, а для структуризации расчётных действий была предложена специальная блок-схема (рис. 2.4).

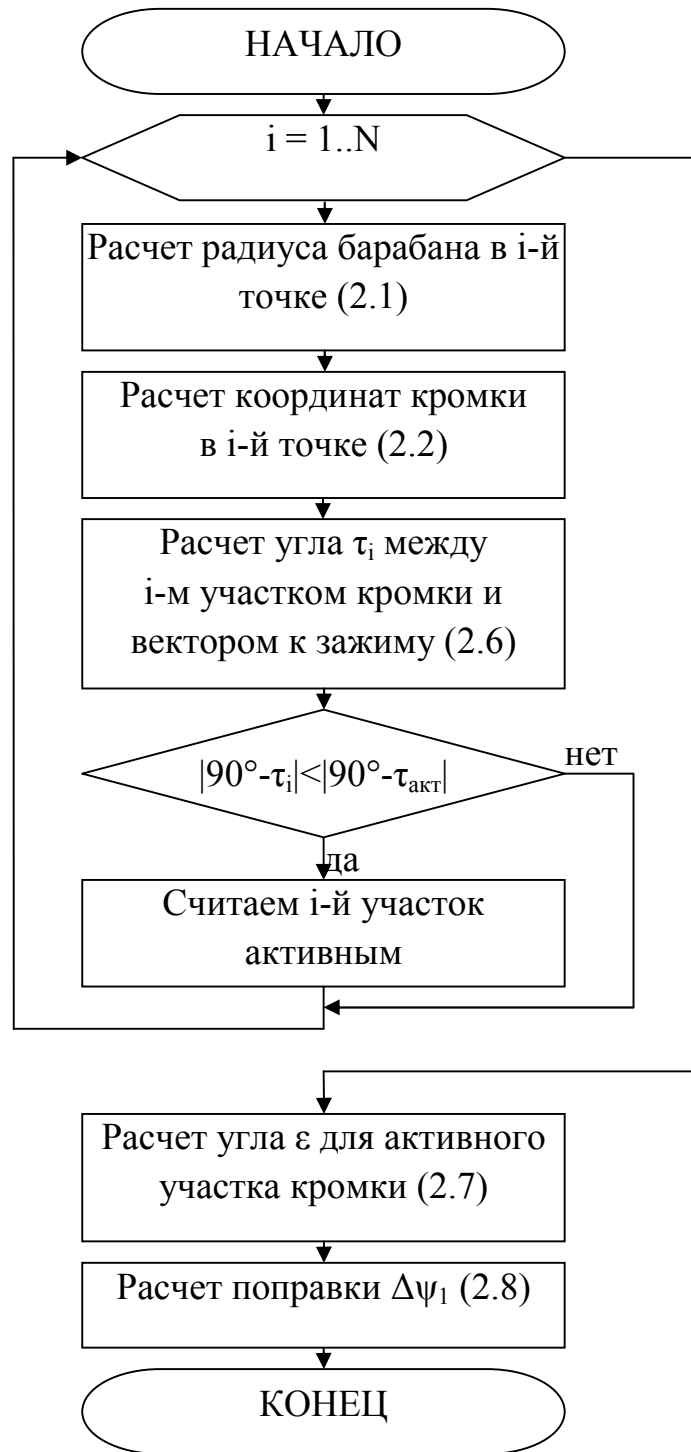


Рис. 2.4. Блок-схема расчётов углов сгруживания прядей в процессе трепания

Апробация этой схемы выявила возможность расчетов угла сгруживания при различных параметрах процесса и конструкции машины в условиях варьирования последних. Были исследованы [69, 70] параметры, представленные в табл. 2.1.

Исследуемые параметры и уровни их варьирования

Обозначение	Название параметров	Уровни параметров		
		нижний	нулевой	Верхний
n_b	Частота вращения трепального барабана, мин ⁻¹	250	300	350
α	Угол конуса трепального барабана, град.	0	12	24
γ	Угол подъема винтовой линии кромки била, град	66	78	90
$v_{тр}$	Скорость движения зажимного транспортера, м/мин	40	60	80
R	Радиус барабана, м	0,3	0,4	0,5

Для каждого параметра были выбраны три уровня, и произведен расчет искомой величины для каждого из этих уровней (при среднем уровне величины остальных параметров).

После этого для каждого параметра были определены минимальное, максимальное и среднее значение искомой величины.

Значимость параметра определялась следующим образом: $\left| \frac{\psi_{\max} - \psi_{\min}}{\bar{\psi}} \right|$

После этого величины значимости были нормированы таким образом, чтобы их сумма составляла 100%. Рассматривали условия взаимодействия пряди, когда она находится в середине длины конусной части барабана.

Результаты представлены на рисунке 2.5.

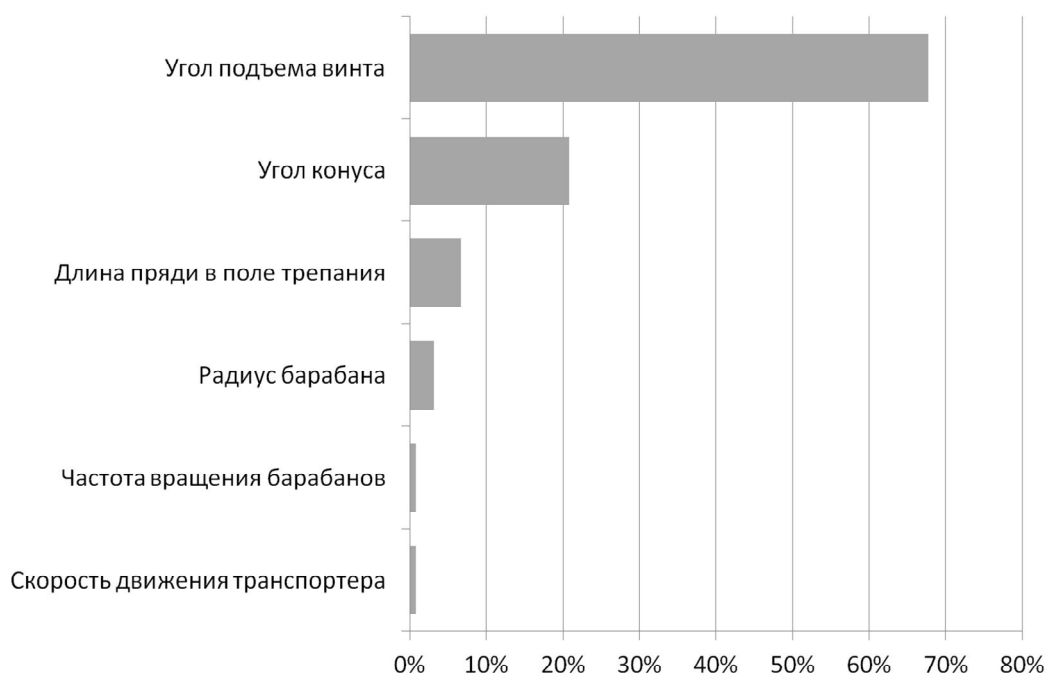


Рис. 2.5. Степень влияния режимных параметров трепания и конструктивных параметров барабана на величину угла сгруживания.

По итогам анализа были сделаны следующие заключения. Оказалось, что изменение частоты вращения и скорости транспортёра влияет на сгруживание незначительно. Наибольшее влияние оказывают угол конуса и угол подъёма винтовой линии, при этом их влияние значительно изменяется в процессе вращения барабана. Влияние винтообразной формы била и влияние конуса большую часть времени противоположны, что потенциально позволяет взаимно компенсировать их воздействие путём подбора их величин.

2.2. Анализ поведения участка пряжи, расположенного между двумя кромками

По итогам анализа поведения участка пряжи у зажима был сделан вывод [71] о применимости аналогичных рассуждений для описания поведения участка между двумя кромками. Однако в этом случае большую роль будет играть длина обрабатываемого участка пряжи, как один из факторов, определяющих возможность взаимодействия пряжи с двумя кромками.

Для решения этой задачи, рассмотрим расчётную схему трепальных барабанов (рис. 2.6). Оси O_1X , O_1Y – соответственно горизонтальная и вертикальная оси в крайнем левом (начальном) поперечном сечении, O_1Z – ось вращения левого трепального барабана. Для пряди в поле трепания будем определять положение ее верхнего участка (у зажима) в зависимости от угла поворота била φ . Принимаем, что в момент нахождения точки зажима пряди на расстоянии L_i от начала координат, начальным является тот момент времени ($t = 0$), когда било направлено вдоль положительной полуоси оси O_1Y .

Относительное смещение угловой координаты рабочей кромки била в сечении барабана z относительно начального сечения $z_0 = 0$ определяем следующим образом:

$$\tau(z) = \frac{z \cdot \text{ctg} \gamma}{R_{\text{бар}}}, \quad (2.9)$$

где z – расстояние между рассматриваемым сечением и началом барабана,

$R_{\text{бар}}$ – радиус цилиндрической части барабана;

γ – угол подъема винтовой линии кромки бильной планки (рис. 2.6).

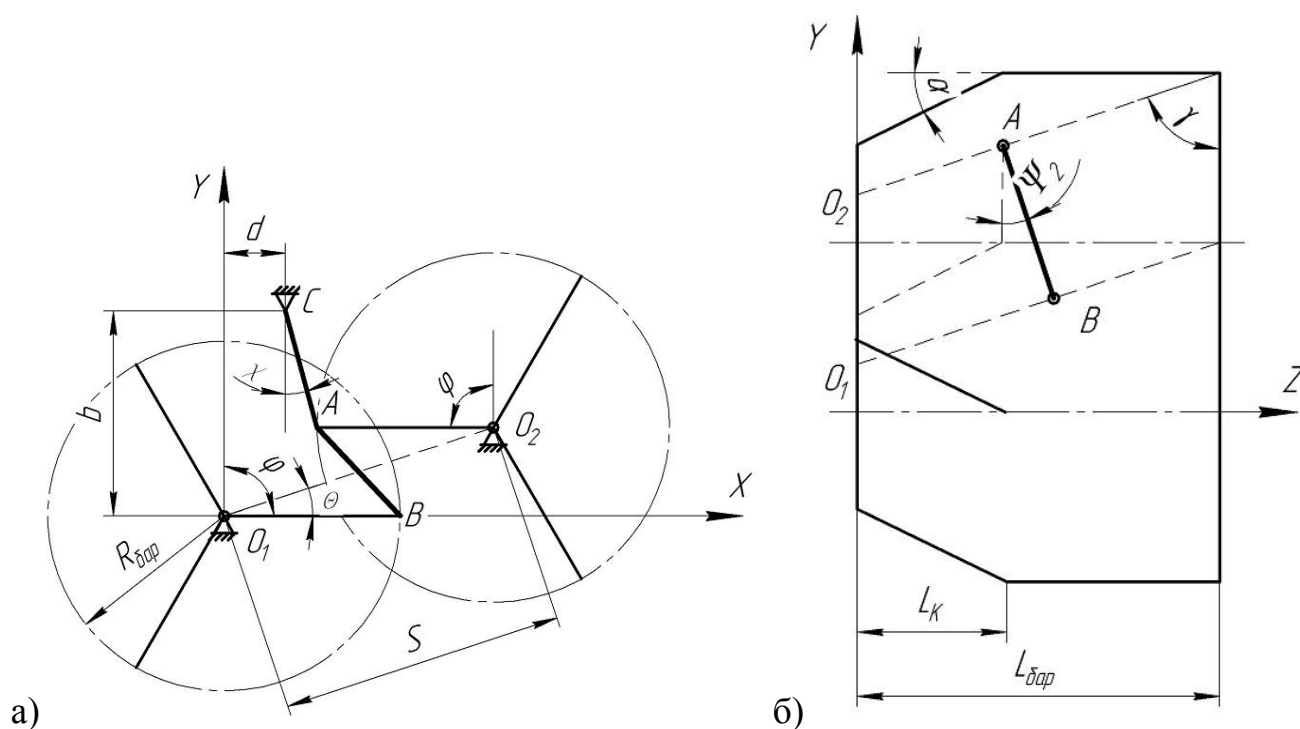


Рис. 2.6. Расчётная схема трепальных барабанов:
а – поперечное сечение; б – продольное сечение

Форму винтовой линии, при которой конечные участки била взаимодействуют с прядью позднее, чем начальные, назовем запаздывающим винтом. Для этого случая будет выполняться условие $\tau(z) > 0$. Обратный случай $\tau(z) < 0$, когда взаимодействие конечных участков опережает по времени взаимодействие начальных, назовем опережающим винтом.

В таких условиях координаты точки зажима рассматриваемой пряди при её перемещении вдоль барабана в момент времени t (рис. 2.5) будут:

$$\begin{aligned} X_C &= d \\ Y_C &= b \\ Z_C &= v_{mp} \cdot t + z \end{aligned} \quad (2.10)$$

где b и d – смещение транспортёра относительно оси левого барабана по горизонтали и вертикали соответственно.

В отличие от алгоритма расчёта сгруживания, является необходимым нахождение интервала углов поворота правого и левого барабанов, при которых прядь находится одновременно во взаимодействии с кромками бил обоих барабанов (см. рис. 2.5). Для этого требуется выполнение следующих условий: оба рассматриваемых била находятся в поле трепания; другие била находятся вне поля трепания; рабочая кромка била касается пряди; длина ломаной CAB (рис. 2.5) не превышает длину пряди.

С учётом этого, зная длину пряди l_n , число бил на барабане z_6 и взаимное расположение барабанов, вычислим минимальный и максимальный угол поворота левого барабана:

$$\begin{aligned} \varphi_{1\min} &= \pi/2 - \theta - \arccos\left(\frac{S}{2R(z)}\right) + \tau(z) \\ \varphi_{1\max} &= \varphi_{1\min} + \frac{2\pi}{z_6} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Аналогично найдём минимальный и максимальный угол поворота правого барабана:

$$\begin{aligned}\varphi_{2\min} &= \pi/2 + \theta - \arccos\left(\frac{S}{2R(z)}\right) + \tau(z) \\ \varphi_{2\max} &= \varphi_{2\min} + \frac{2\pi}{z_0}\end{aligned}\quad (2.12)$$

Диапазон углов поворота $(\varphi_{pm\min}; \varphi_{pm\max})$, при которых кромка била правого барабана соприкасается с прядью, будет определяться условием:

$$\chi(X_{Aj}, Y_{Aj}) \leq \chi(X_{Bk}, Y_{Bk}), \quad (2.13)$$

где угол χ вычисляется с учётом значений b и d следующим образом:

$$\chi(X, Y) = \begin{cases} \arccos \frac{b - Y}{\sqrt{(X - d)^2 + (Y - b)^2}} & \text{если } X > d \\ 0 & \text{если } X = d \\ -\arccos \frac{b - Y}{\sqrt{(X - d)^2 + (Y - b)^2}} & \text{если } X < d \end{cases} \quad (2.14)$$

Диапазон углов поворота $(\varphi_{l\min}; \varphi_{l\max})$, в котором кромка била левого барабана может взаимодействовать с прядью, определяется следующим неравенством:

$$\begin{aligned}&\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2} + \\ &+ \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2 + (Z_C - Z_A)^2} \leq l_n\end{aligned}\quad (2.15)$$

В таком случае итоговый диапазон $(\varphi_{\min}; \varphi_{\max})$ будет определяться как пересечение диапазонов:

$$\begin{aligned}\varphi_{\min} &= \max(\varphi_{1\min}, \varphi_{2\min}, \varphi_{pm\min}, \varphi_{l\min}) \\ \varphi_{\max} &= \min(\varphi_{1\max}, \varphi_{2\max}, \varphi_{pm\max}, \varphi_{l\max})\end{aligned}\quad (2.16)$$

Согласно алгоритму, описанному выше в пункте 2.2.1, определим положение участка пряди (её точки зажима и точки взаимодействия с кромкой била), в условиях одновременного перемещения точки зажима пряди и поворота била.

Для каждого i -го поперечного сечения координаты кромки била в i -ом сечении вычислим, используя выражения:

$$\begin{aligned}Z_{Ai} &= i \cdot \frac{L_{bar}}{n}; \\ X_{Ai} &= S \cdot \cos(\theta) + R(Z_{Ai}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \tau(Z_{Ai})\right); \\ Y_{Ai} &= S \cdot \sin(\theta) + R(Z_{Ai}) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \tau(Z_{Ai})\right).\end{aligned}\quad (2.17)$$

Применительно к ним радиус барабана $R(z)$ на каждом участке в зоне конусной и цилиндрической частей будет определяться:

$$R(z) = \begin{cases} R_{\delta ap} \cdot \cos \alpha - (L_{\kappa} - R_{\delta ap} \cdot \sin \alpha - z) \cdot \operatorname{tg} \alpha & z < L_{\kappa} - R_{\delta ap} \cdot \sin \alpha \\ \sqrt{R_{\delta ap}^2 - (L_{\kappa} - z)^2} & L_{\kappa} - R_{\delta ap} \cdot \sin \alpha \leq z < L_{\kappa} \\ R_{\delta ap} & z \geq L_{\kappa} \end{cases} \quad (2.18)$$

Принимая ранее указанное предположение, что прядь занимает положение, перпендикулярное кромке, определяем участок, для которого сумма углов μ_i и $\psi_{\phi 1}$ наиболее близка к 90° . Обозначим номер этого участка j . Аналогичным образом найдем номер взаимодействующего с прядью участка кромки левого барабана. Для этого разобьём кромку бильной планки на n элементарных участков аналогично кромке правого барабана со значениями $R(z)$ и $\tau(z)$. Тогда координаты элементарных участков будут следующими:

$$\begin{aligned} Z_{B_i} &= i \cdot \frac{L_{bar}}{n}; \\ X_{B_i} &= R(Z_{B_i}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \tau(Z_{B_i})\right); \\ Y_{B_i} &= R(Z_{B_i}) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \tau(Z_{B_i})\right). \end{aligned} \quad (2.19)$$

По аналогии к правому барабану для каждого элементарного участка $B_{i-1}B_i$ находим угол ν_i между векторами $B_{i-1}B_i$ и $B_{i-1}A_j$:

$$\nu_i = \arccos \frac{\overrightarrow{B_{i-1}A_j} \cdot \overrightarrow{B_{i-1}B_i}}{\left| \overrightarrow{B_{i-1}A_j} \right| \left| \overrightarrow{B_{i-1}B_i} \right|}. \quad (2.20)$$

Для участка k угол наклона составит:

$$\psi_{\Gamma 2} = \operatorname{arctg} \left(\frac{Z_{Bk} - Z_{Aj}}{Y_{Aj} - Y_{Bk}} \right). \quad (2.21)$$

В этом случае для активного участка угол ν_i также будет наиболее близок к 90° .

По аналогии с расчётом угла сгруживания, определение поправки к углу наклона от натяжения пряди будем осуществлять, применяя выражение:

$$\Delta \psi_2 = \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{kN_2(Z_3)}{T_2(Z_3)} \right). \quad (2.22)$$

Отсюда итоговое значение угла сгруживания составит:

$$\psi_2 = \psi_{\Gamma_2} + \Delta\psi_2. \quad (2.23)$$

Для эффективного исследования взаимосвязей угла сгруживания, формирующегося между двумя кромками бил в поле трепания, предложенная выше последовательность вычислений была представлена в виде алгоритма, указанного на рисунке 2.7.

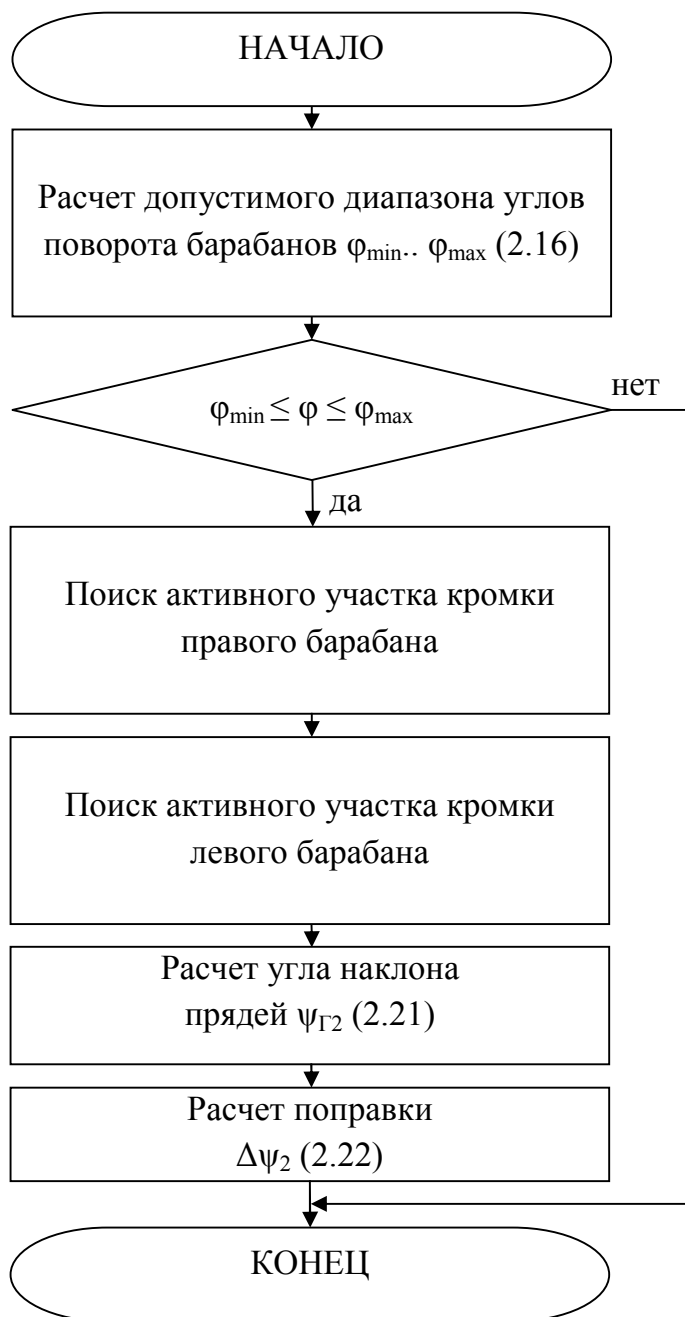


Рис. 2.7. Блок-схема расчёта угла наклона прядей

Предложенный алгоритм был использован для выявления степени влияния на угол сгруживания в рассматриваемой зоне трепания параметров процесса (режимов), свойств материала и конструкции. К ним, исходя из структуры

представленных зависимостей, были отнесены: n_b – частота вращения трепального барабана, α – угол конусной части барабана, γ – угол подъема винтовой линии в конусной части, а также l_n – длина пряжи.

Для решения поставленной задачи, используя методику регрессионного анализа, был поставлен расчётный эксперимент. В его основу было положено определение угла сгруживания при различном сочетании значений указанных параметров и свойств (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Исследуемые параметры и уровни их варьирования

Обозначение	Название параметров	Уровни параметров	
		нижний	верхний
n_b	Частота вращения трепального барабана, мин ⁻¹	200	400
α	Угол конуса трепального барабана, град.	0	24
γ	Угол подъема винтовой линии кромки била, град	78	84
$v_{тр}$	Длина пряжи в обработке, см	60	70

Была получена регрессионная модель и осуществлена статистическая оценка её параметров с использованием программы Statistica 6.0. После отсева незначимых параметров полученная модель обеспечивала условия адекватности. Общий её вид представлен следующим образом:

$$\psi_2 = -0,8406 \alpha - 0,4267 \gamma + 0,7514 l_n.$$

Было проведено ранжирование параметров модели по степени влияния на формирование угла свала ψ_2 на основании величины критерия Стьюдента (см. диаграмму на рис. 2.8).



Рис. 2.8. Влияние параметров на угол ψ_2

Установлено, что наибольшее влияние на формирование ψ_2 оказывает угол конуса. С ростом этого угла, угол сгуживания увеличивается. Далее следует угол подъёма винтовой линии бильной планки и скорость движения транспортера. Влияние частоты вращения барабанов статистически не значимо.

Для выявления более точных тенденций изменения угла сгуживания на первом и втором участке по итогам ранжирования было проведено исследование статистически значимых параметров. Результаты этого исследования представлены графически на рисунках 2.9 и 2.10.

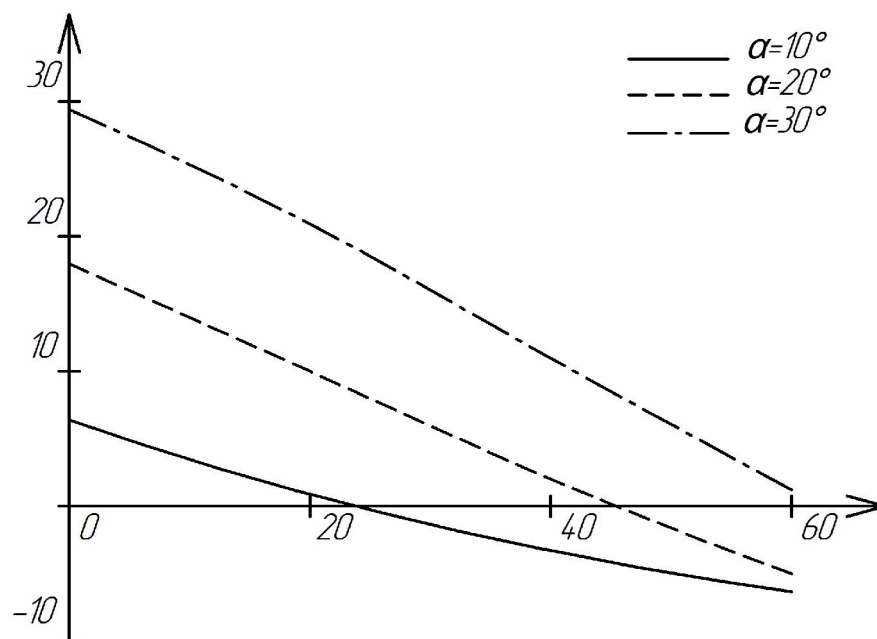


Рис. 2.9. Изменение угла сгруживания при вращении барабанов для различных углов конуса для случая бильной планки, параллельной оси вращения барабана ($\gamma = 90^\circ$)

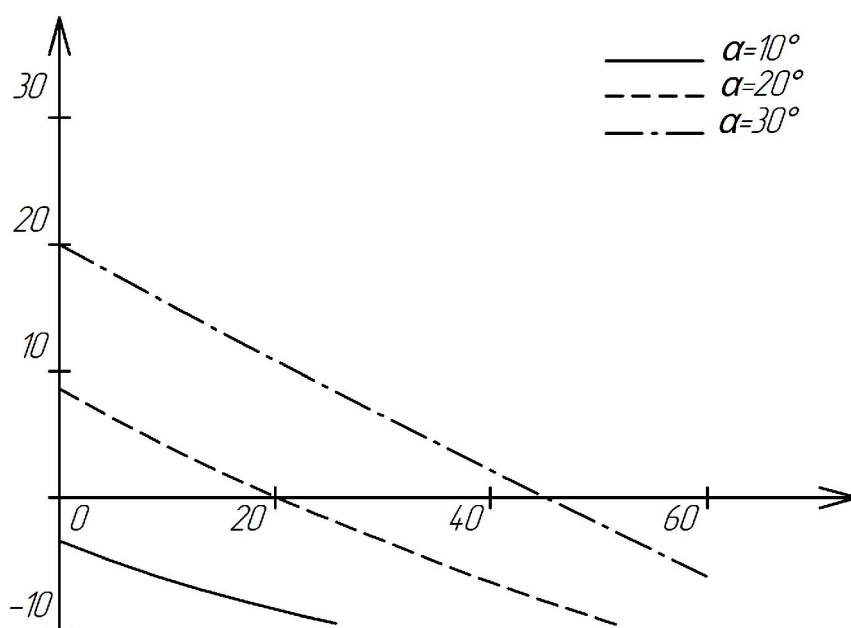


Рис. 2.10. Изменение угла сгруживания при вращении барабанов для различных углов конуса с углом подъёма винтовой линии бильной планки $\gamma = 80^\circ$

На рис. 2.11–2.14 представлены графические зависимости угла наклона участка между кромками двух бил в поле трепания для разных сочетаний конструктивно-технологических параметров.

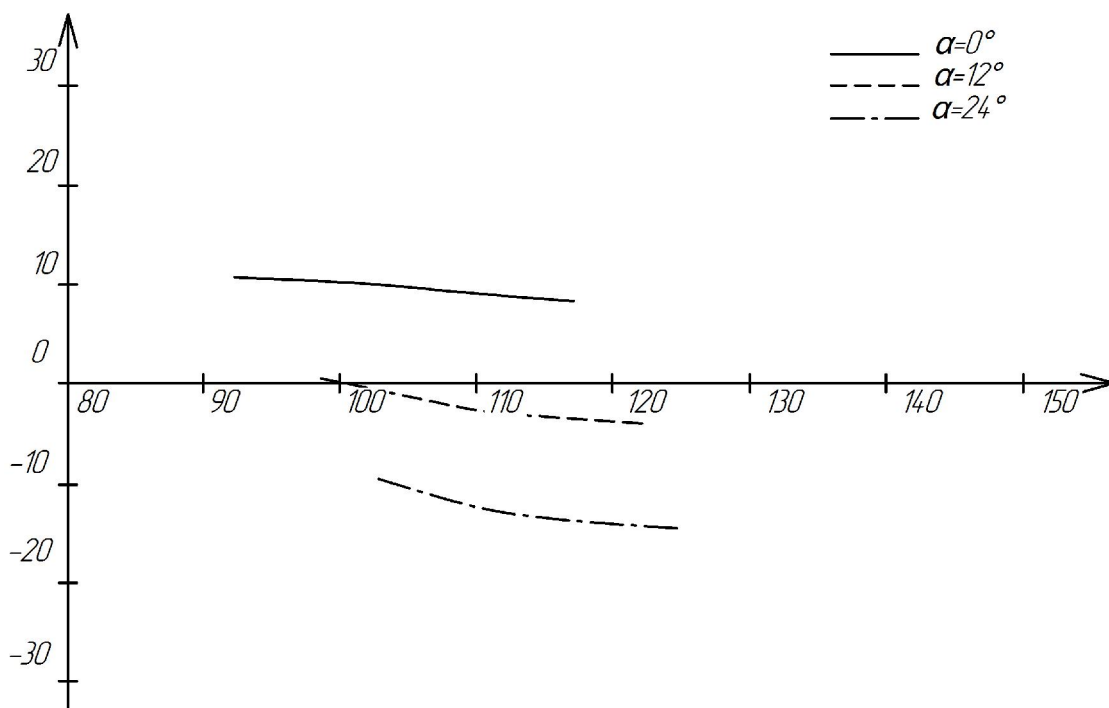


Рис. 2.11. Изменение угла наклона участка при вращении барабанов для различных углов конуса ($\gamma = 84^\circ$, $l_{\text{п}} = 60$ см)

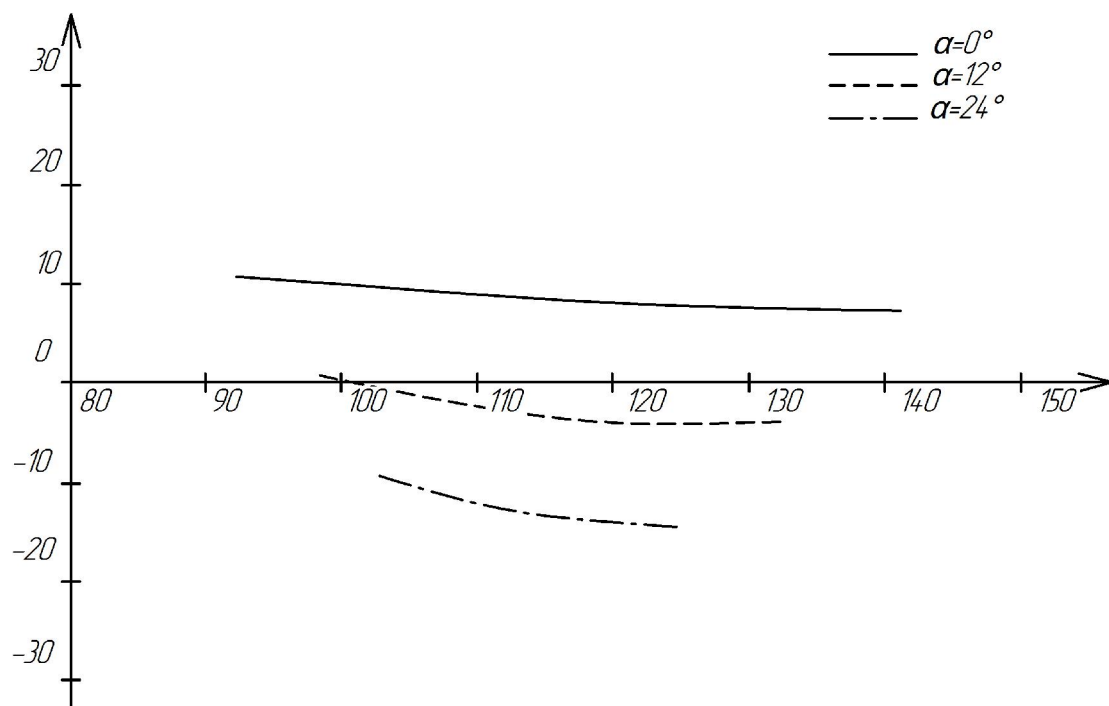


Рис. 2.12. Изменение угла наклона участка при вращении барабанов для различных углов конуса ($\gamma = 84^\circ$, $l_{\text{п}} = 70$ см)

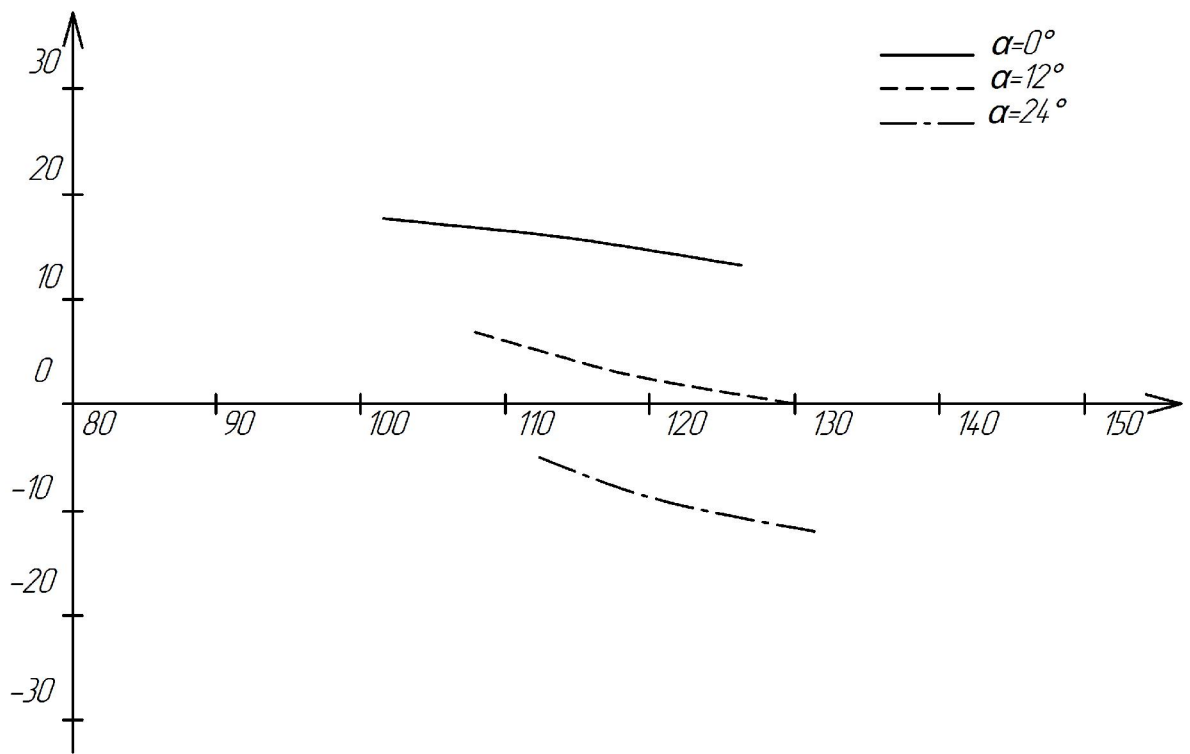


Рис. 2.13. Изменение угла наклона участка при вращении барабанов для различных углов конуса ($\gamma = 78^\circ$, $l_{\text{п}} = 60$ см)

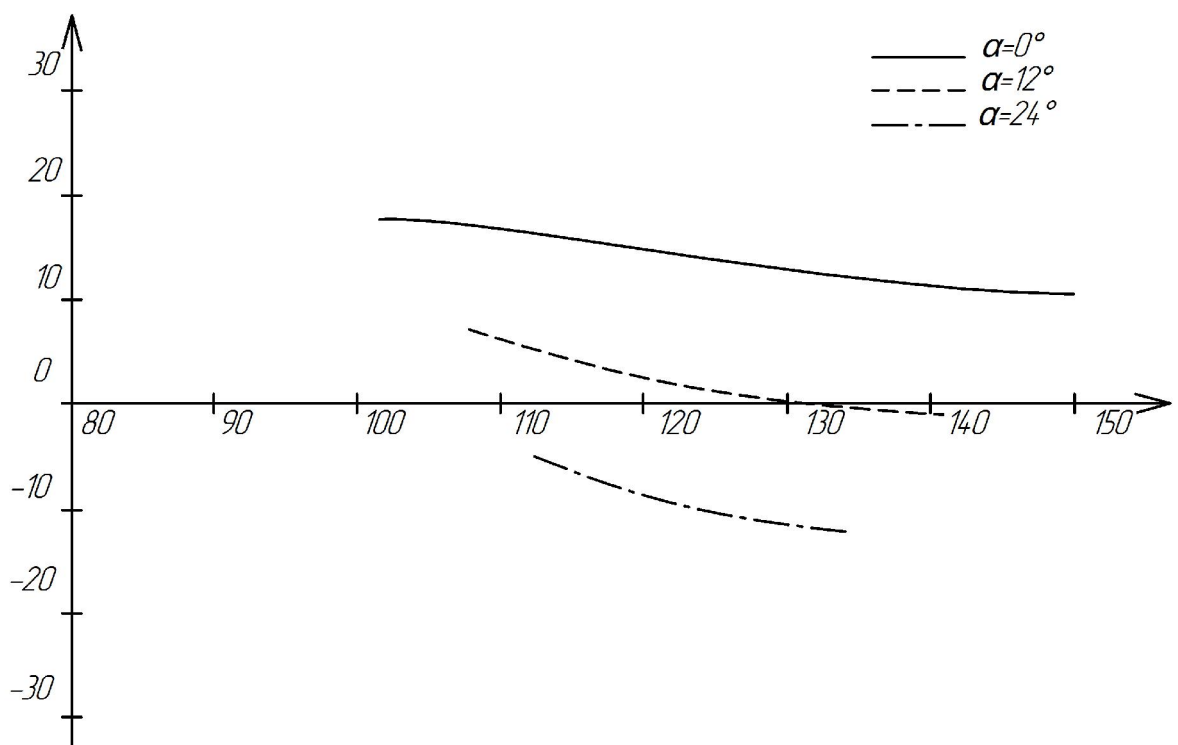


Рис. 2.14. Изменение угла наклона участка при вращении барабанов для различных углов конуса ($\gamma = 78^\circ$, $l_{\text{п}} = 70$ см)

Из результатов анализа можно сделать следующие выводы. Изменение скорости вращения барабанов влияет на наклон прядей незначительно. Наибольшее влияние оказывает угол конуса барабанов. При этом наклон прядей разной длины значительно отличается, что может приводить к их перекрещиванию.

Важно отметить также следующее. Из графиков, представленных на рис. 2.9-2.14 следует, что угол сгуживания и угол наклона прядей значительно изменяется в ходе вращения барабана. Это изменение означает, что прядь совершает сложное движение относительно точки контакта с кромкой била не только в поперечной, но и в продольной плоскости.

Заключение по главе 2

В процессе взаимодействия била с прядью формируется угловое отклонение в продольной плоскости участка пряди у зажима – угол сгуживания пряди. Величина этого угла зависит от конструктивно-технологических параметров процесса трепания, при этом она меняется в ходе вращения барабана.

Изучение особенностей поведения участка пряди между кромками бил выявило аналогичное угловое отклонение – угол наклона пряди. Установлено, что величина этого отклонения также изменяется в ходе вращения барабана. Существование и величина этого углового отклонения зависит не только от конструктивно-технологических параметров процесса трепания, но и от свойств сырья.

Это позволяет предположить наличие сложного вращательного движения пряди в ходе её взаимодействия с бильной планкой, что может повлиять на движение свободного участка пряди.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СВОБОДНОГО УЧАСТКА ПРЯДИ ЛЬНЯНОГО СЫРЦА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ ОБРАБОТКИ ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Особенности перемещения и возникающими при этом скоростями и ускорениями применительно к концу пряжи детально исследовали ряд ученых [2, 55]. Однако исследования характера перемещений в продольной плоскости никем не проводились. Представленные выше результаты, объясняющие существования сгруживания пряжей, а самое главное – его изменение во времени (по мере вращения барабанов), позволяют заключить о возможности продольного движения пряжи. Это объясняется следующим.

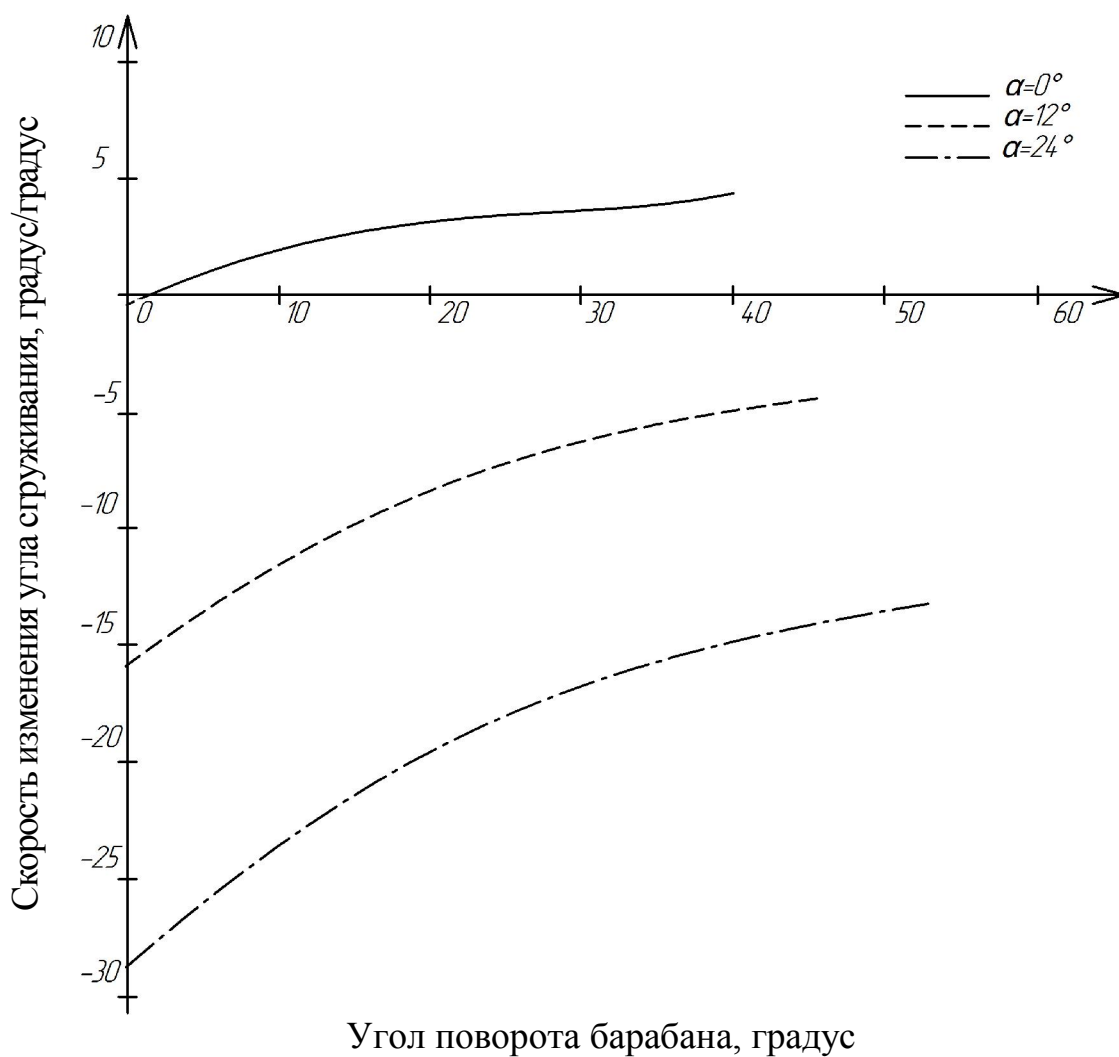
После потери контакта конца пряжи с кромкой била он будет продолжать движение по инерции. Нами была произведена оценка скорости перемещения свободного участка. Была найдена первая производная функции изменения угла сгруживания (наклона) по углу поворота барабана. Анализ был проведён применительно к формированию угла сгруживания (для короткого сырья) и для угла наклона участков пряжи между билами (для более длинных пряжей). Итоги определения представлены графически на рис. 3.1.

Полученные данные подтверждают заключение о наличии скорости у конца свободного участка пряжи. Более того, имеют место градиенты скоростей, вызванные ускоренным движением пряжи.

При таких выводах заметим, что в ходе вращения барабанов длина перемещающегося с била на било свободного участка будет уменьшаться. Такое перемещение, когда один конец пряжи соприкасается с кромкой била, а другой свободно перемещается (перелетает от одного била к другому), совершая сложное движение, которое можно уподобить движению маятника.

При уменьшении же длины маятника во времени может возникать эффект увеличения частоты колебаний, то есть скорость перемещения маятника будет

возрастать. Согласно [72] такой эффект будет обусловлен сохранением момента импульса в колебательной системе, что и будет приводить к росту амплитуды колебаний и скорости перемещения маятника. По нашему мнению, поведение свободного, потерявшего контакт участка пряжи, перелетающего на другое било, будет уподобляться упомянутому поведению маятника. Поэтому исследование особенностей движения свободного участка будем проводить на упомянутой методической основе, с учетом ряда допущений, упрощающих рассматриваемое явление.



а)

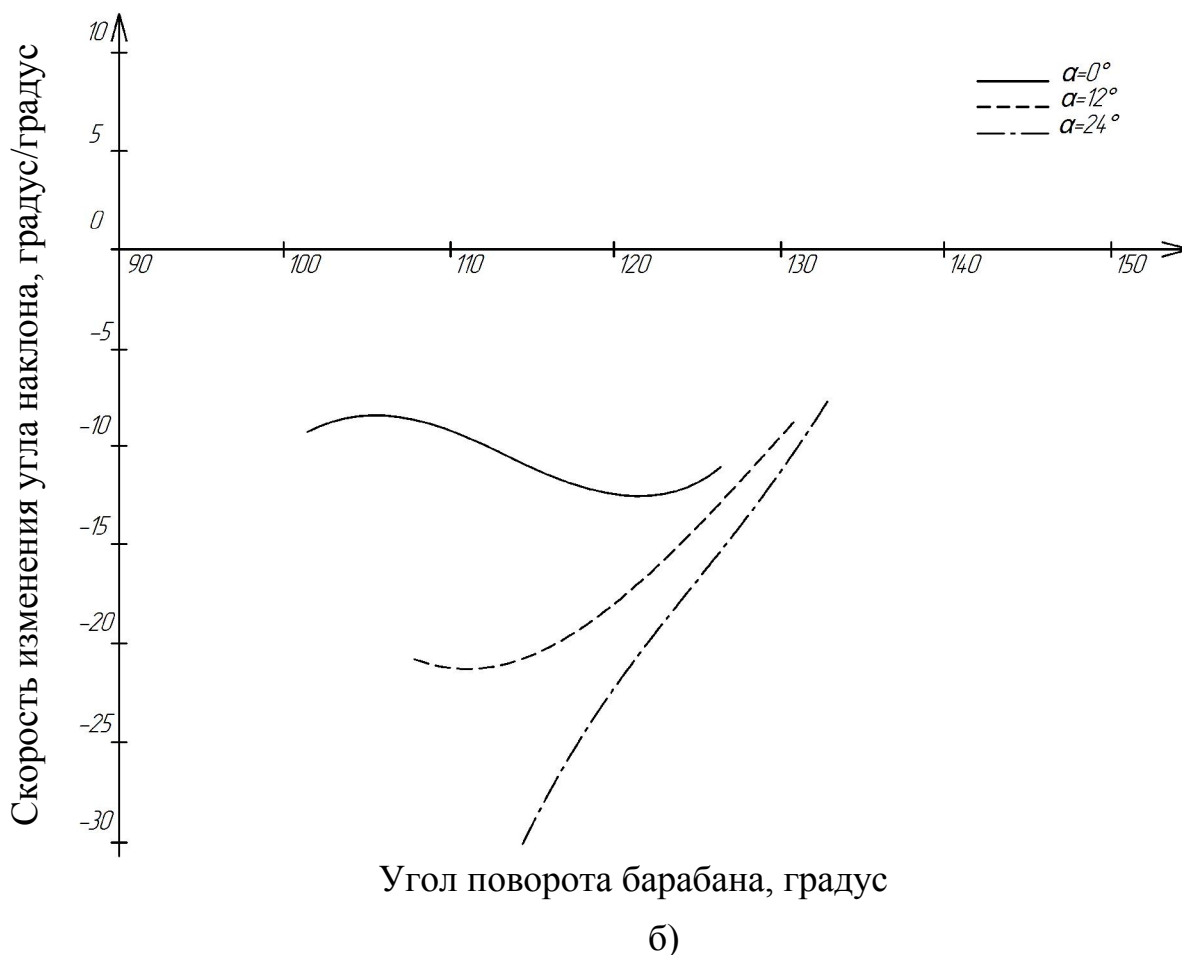


Рис. 3.1 Скорость изменения угла сгруживания (а) и наклона (б) при вращении барабанов ($\gamma = 78^\circ$, $n_{\delta} = 400 \text{ мин}^{-1}$, $l_n = 50 \text{ см}$ (а) и $l_n = 60 \text{ см}$ (б))

3.1. Анализ поведения свободного участка пряжи в процессе движения к подбильной решётке

На основании моделей поведения участков пряжи, находящихся под воздействием бил, была сделана попытка [73] оценить поведение свободного участка пряжи, исходя из того предположения, что он продолжает свое движение по инерции начиная с момента слёта конца пряжи с тыльной кромки бильной планки. Это отклонение свободного участка пряжи в вертикальной продольной плоскости в ходе падения на подбильную решётку била назовём свалом.

При проведении исследований будем учитывать, что в докторской диссертации Бойко С.В. [58], при определённом сочетании длины обрабатываемого участка пряжи и конструктивных параметров трепальной секции возможно явление, при котором свободный участок пряжи не падает на

подбильную решётку противоположного барабана, а увлекается за кромкой била, с которой он только что потерял контакт. Из представленных в работе расчётов следует, что для трепальной секции агрегата МТА-2Л это явление возникает при длине обрабатываемого участка пряжи, превышающей 50 см.

Применив алгоритм оценки интервала существования двойного контакта пряжи с кромками, приведённый ранее, можно утверждать, что в трепальной секции агрегата МТА-2Л при длине обрабатываемого участка пряжи меньшей 55 см прядь будет взаимодействовать не более чем с одной кромкой. Таким образом, в рассматриваемом случае при длине пряжи, достаточной для взаимодействия с двумя кромками, явление свала в его вышеприведенной формулировке существовать не будет вследствие описанного эффекта увлечения свободного участка. На основании этого было принято решение рассматривать явление свала только для ситуаций, когда в каждый момент времени существует не более одной точки контакта между прядью и кромками бильных планок.

В ходе построения модели были сделаны следующие допущения:

- прядь представлена как однородный стержень переменной длины;
- в связи со сложностями учёта аэродинамических потоков вдоль оси барабана, влиянием воздушной среды пренебрегли;
- предполагается, что после слёта прядь продолжает двигаться равномерно.

Поведение свободного участка пряжи будем рассматривать в подвижной системе координат $X'Y'Z'$ с началом координат в точке A (рис 3.2, система $X'Y'Z'$ на рисунке не отмечена) с сохранением направления осей. Эта система является неинерциальной и совершает движение по дуге окружности относительно базовой системы координат XYZ .

Исследуем характер поведения проекции свободного участка пряжи на плоскость $Y'Z'$ непосредственно после слёта конца пряжи с кромки била (рис. 3.2). В этот момент на прядь в рассматриваемой плоскости $Y'Z'$ действуют две силы: проекция на ось Z' силы инерции F_Z , вызванной неравномерным скольжением пряжи вдоль кромки, и сила тяжести mg , где m – масса пряжи, g – ускорение

свободного падения. С учётом принятых допущений в первом приближении аэродинамические эффекты не учитываем.

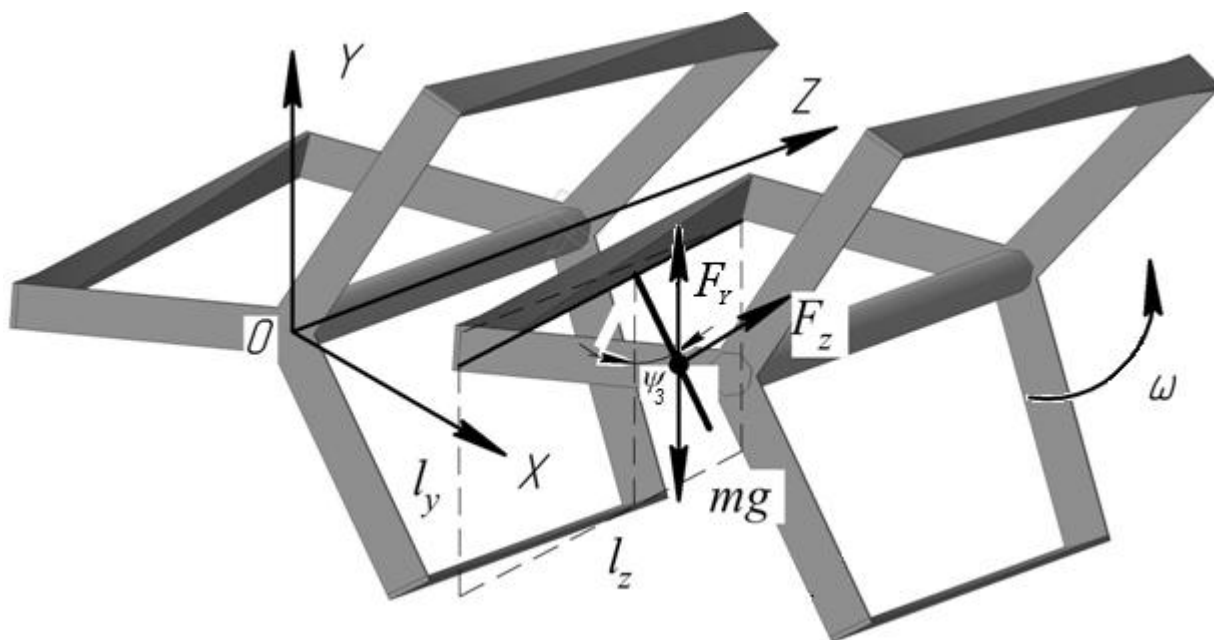


Рис. 3.2. Силы, способствующие угловому смещению
свободного участка пряди ψ_3

Вспользуемся теоремой об изменении кинетического момента для описания движения свободного участка пряди:

$$\frac{dK_{X'}}{dt} = M_{F_z'} - M_{mg} - M_{\omega y'}, \quad (3.1)$$

где $K_{X'}$ – момент количества движения пряди относительно оси AX' ;

$M_{F_z'}$ – момент относительно оси AX' проекции F_Z силы инерции на ось Z' , вызванной неравномерным движением пряди вдоль трепальной секции;

M_{mg} – момент относительно оси AX' силы тяжести mg , направленной вдоль оси Y' ;

$M_{\omega y'}$ – момент относительно оси AX' проекции F_Y силы инерции на ось Y' , вызванной движением кромки била.

Модуль составляющей момента силы инерции на ось AX' можно вычислить, заменив радиус-вектор середины свободного участка пряди на радиус-вектор середины его проекции на плоскость $Y'Z'$.

Рассмотрим проекцию свободного участка пряжи на плоскость $Y'Z'$ и примем её за однородный тонкий стержень длиной $l_{yz}(t)$ и массой $m = \mu l_{yz}(t)$, где μ – линейная плотность пряжи. Тогда момент количества движения составит:

$$K_X = \frac{1}{3} \dot{\psi}_3(t) \cdot m l_{yz}(t)^2 = \frac{1}{3} \mu \cdot \dot{\psi}_3(t) \cdot l_{yz}(t)^3, \quad (3.2)$$

Продифференцировав обе части по времени t , получим:

$$\frac{dK_X}{dt} = \frac{1}{3} \mu \cdot \ddot{\psi}_3(t) \cdot l_{yz}(t)^3 + \mu \cdot \dot{\psi}_3(t) \cdot l_{yz}(t)^2 \cdot \dot{l}_{yz}(t). \quad (3.3)$$

Величину проекции силы инерции на ось AZ' можно определить, зная массу свободного участка пряжи и ускорение a_z , с которым движется свободный участок. Тогда момент относительно оси AZ' проекции силы инерции пряжи на ось Z' будет определяться следующим образом:

$$M_{Fz} = m a_z(t) \cdot \frac{1}{2} l_{yz}(t) \cdot \cos(\psi_3(t)) = \frac{1}{2} \mu a_z(t) \cdot l_{yz}(t)^2 \cdot \cos(\psi_3(t)), \quad (3.4)$$

где $\frac{1}{2} l_{yz}(t) \cos \psi_3(t)$ – плечо интересующей нас проекции силы инерции.

Аналогично момент силы тяжести относительно оси AZ' будет определяться силой mg действующей на плечо длиной $l_{yz}(t) \sin \psi_3(t)$. Тогда:

$$M_{mg} = mg \frac{1}{2} l_{yz}(t) \cdot \sin(\psi_3(t)) = \frac{1}{2} \mu g \cdot l_{yz}(t)^2 \cdot \sin(\psi_3(t)). \quad (3.5)$$

Момент $M_{uy'}$ проекции центробежной силы инерции на ось AY' будет определяться величиной проекции ускорения движения бильной планки на ось Y' .

$$M_{uy'} = m a_{uy'}(t) \frac{1}{2} l_{yz}(t) \cdot \sin(\psi_3(t)) = \frac{1}{2} \mu a_{uy'}(t) \cdot l_{yz}(t)^2 \cdot \sin(\psi_3(t)). \quad (3.6)$$

Подставив выражения с (3.4) по (3.6) в равенство (3.3), получим:

$$\mu \left(\frac{1}{3} \ddot{\psi}_3(t) \cdot l_{yz}(t)^3 + \dot{\psi}_3(t) \cdot \dot{l}_{yz}(t) \cdot l_{yz}(t)^2 \right) = \frac{1}{2} \mu a_z(t) \cdot l_{yz}(t)^2 \cdot \cos(\psi_3(t)) - \frac{1}{2} \mu g \cdot l_{yz}(t)^2 \cdot \sin(\psi_3(t)) - \frac{1}{2} \mu a_{uy'}(t) \cdot l_{yz}(t)^2 \cdot \sin(\psi_3(t))$$

Преобразуем его, перенеся все слагаемые в левую часть равенства и избавившись от коэффициента перед $\ddot{\psi}_3$, к следующему виду:

$$\ddot{\psi}_3(t) + \frac{3\dot{\psi}_3(t) \cdot \dot{l}_{yz}(t)}{l_{yz}(t)} - \frac{3}{2l_{yz}(t)} a_z(t) \cdot \cos(\psi_3(t)) + \frac{3}{2l_{yz}(t)} g \cdot \sin(\psi_3(t)) + \frac{3}{2l_{yz}(t)} a_{uy'}(t) \cdot \sin(\psi_3(t)) = 0.$$

После дополнительных преобразований получим нелинейное дифференциальное уравнение, описывающее процесс свала пряди:

$$\ddot{\psi}_3(t) + \frac{3\dot{\psi}_3(t) \cdot \dot{l}_{yz}(t)}{l_{yz}(t)} + \frac{3}{2l_{yz}(t)} \cdot \sqrt{(g + a_{iy'}(t))^2 + a_z(t)^2} \cdot \sin\left(\psi_3(t) - \arctan\left(\frac{a_z(t)}{g + a_{iy'}(t)}\right)\right) = 0. \quad (3.7)$$

Начальные условия для его решения, а именно начальный угол отклонения пряди ψ_3 и скорость его изменения $\dot{\psi}_3$, следует определять с учетом того, что начиная с момента потери контакта:

$$t_0 = \frac{\varphi_{L \max}}{\omega}$$

и в течение времени

$$\Delta t = \frac{\varphi_{2 \min} - \varphi_{1L \max}}{\omega}$$

прядь не будет контактировать с каким-либо биллом. В этот период будет осуществляться её смещение, влияющее на угол ψ_3 . Допустим, что изменение этого угла происходит равномерно. Тогда начальные условия будут определяться на основании алгоритма расчета угла сгуживания с учётом поправки на возникающее дополнительное угловое смещение $\Delta\psi_3 = \dot{\psi}_3(t_0) \cdot \Delta t$.

Для оценки длительности процесса свала участка пряди применили алгоритм, изложенный в [2], который позволил оценить его среднее время $t_{xy} \approx 15$ мс. С его применением были получены расчётные зависимости угла свала по времени (рис. 3.3).

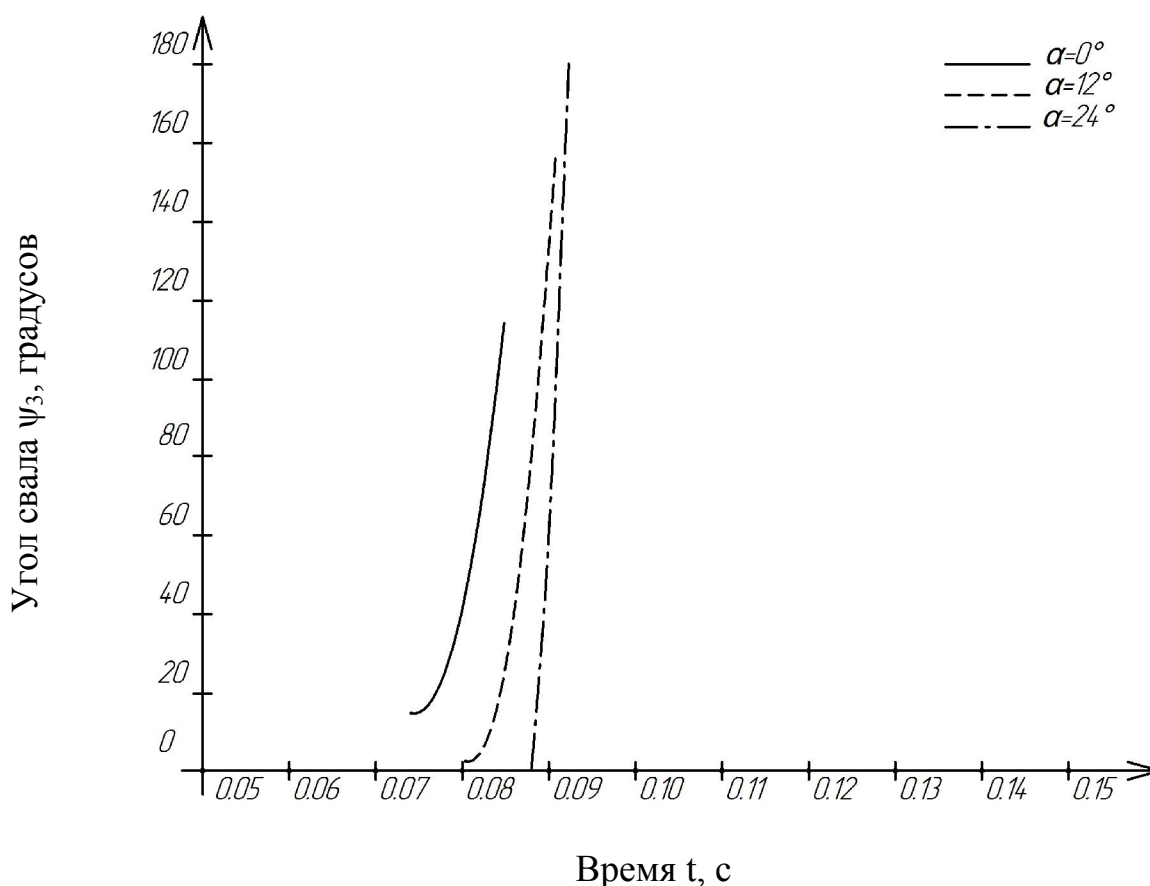


Рис. 3.3. Изменение угла свала по времени для разных углов конуса
 $(\gamma = 84^\circ, n_\sigma = 200 \text{ мин}^{-1} \text{ и } l_n = 30 \text{ см})$

Был произведен анализ [74, 75] полученной модели с целью оценки степени влияния различных режимно-конструктивных параметров процесса трепания на величину угла свала в момент падения пряжи на подбильную решетку (итоговый угол свала).

3.2. Уточнение модели движения свободного участка пряжи

Однако результаты численного эксперимента показали несоответствие модели наблюдаемым процессам. В частности, модель предсказывала полное падение свободного участка на бильную планку. Особенно это проявлялась при расчётах с малыми длинами прядей. При таких результатах оказывалось, что свободные участки не попадают на подбильную решетку и вследствие свала располагаются под углами более 180° . Такой итог расчётов оказался не адекватным по отношению к практическим результатам, при которых участки пряжи вне зависимости от их длины всегда соприкасаются в подбильной

решёткой. Такое несоответствие объяснялось учётом ряда факторов, влияющих на угол свала. При дополнительном анализе наше внимание было обращено на заключение Кузьминского А.Б. [25, с. 106] относительно значимого влияния воздушной среды на движение концов горсти в поле трепания. При оценке их влияния указанным автором был сделан вывод о сопоставимости величин ускорений, вызывающих перемещения прядей от воздействия била и воздействия воздушных потоков.

В связи с этим было принято решение уточнить [76] модель, отказавшись от допущения об отсутствии воздушной среды. Было принято допущение, что воздух, окружающий барабан, движется как одно целое с барабаном, а потому может считаться неподвижным в системе координат, связанной с бильной планкой. Таким образом, учитывалось только сопротивление воздушной среды.

С некоторыми упрощениями будем рассматривать движение пряди в продольной плоскости и допустим, что на прядь действуют силы инерции, вызванные продольным движением пряди, силы инерции, вызванные вращательным движением била, сила тяжести и сила сопротивления воздуха. Обозначим A – точку соприкосновения пряди с кромкой била правого барабана, B – точку соприкосновения пряди с кромкой била левого барабана, C – точку зажима, будем рассматривать движение пряди в подвижной системе координат $X'Y'Z'$ с началом в точке A и осью Z' , направленной по ходу транспортёра параллельно оси барабана. Воспользовавшись теоремой об изменении кинетического момента, получим

$$\frac{dK_{X'}}{dt} = M_{Fz'} - M_{mg} - M_{Fy'} \pm M_{F\epsilon} \quad (3.8)$$

где $M_{F\epsilon}$ – момент относительно оси AX' проекции силы сопротивления воздуха F_ϵ на плоскость $Y'Z'$.

Нелинейное дифференциальное уравнение, описывающее процесс формирования угла свала, составим на основании результатов, полученных в [54], с использованием методики, описанной в [2]. Итоговое уравнение выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \ddot{\psi}_3(t) + \frac{3\dot{\psi}_3(t) \cdot \dot{l}_{yz}(t)}{l_{yz}(t)} + \text{sign}(\dot{\psi}_3(t)) \cdot \frac{3\rho}{8\mu} \cdot c_x d \cdot l_{yz}(t) \cdot \dot{\psi}_3(t)^2 + \\ + \frac{3}{2l_{yz}(t)} \cdot \sqrt{(g + a_{\psi y'}(t))^2 + a_z(t)^2} \cdot \sin\left(\psi_3(t) - \arctg\left(\frac{a_z(t)}{g + a_{\psi y'}(t)}\right)\right) = 0 \end{aligned} \quad (3.9)$$

где ρ – плотность воздуха,

c_x – коэффициент лобового сопротивления,

d – характерный размер сечения элемента слоя,

Используя полученное выражение, был проведён повторный анализ изменения угла сгруживания по времени перемещения пряжи с одного била на другое (рис. 3.4). Полученный результат существенно отличался от того, который был получен на основе модели, не учитывающей сопротивления воздуха и предварительно соответствовал существующим закономерностям перемещения пряжи в поле трепания. Угол свала достигал 20...25 градусов.

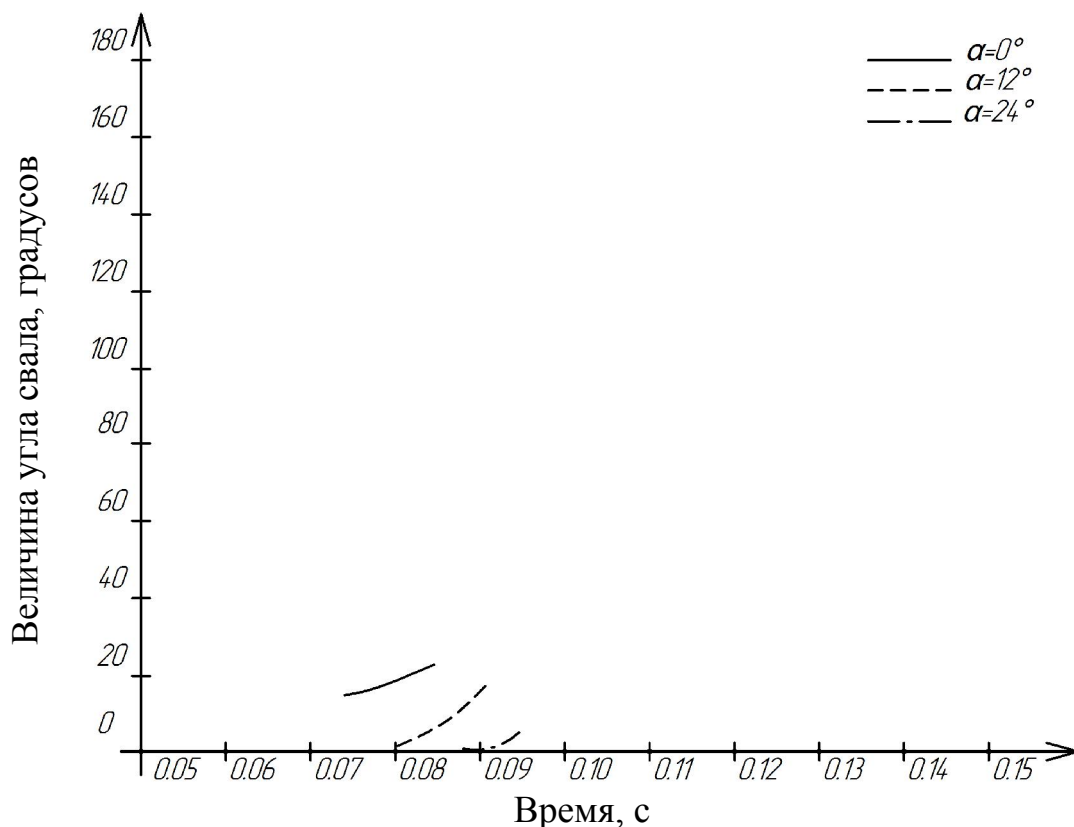


Рис. 3.4. Изменение угла свала по времени с учётом влияния воздушной среды

(сопротивления воздуха) для разных углов конуса

$$(\gamma = 84^\circ, n_\sigma = 200 \text{ мин}^{-1}, l_n = 30 \text{ см})$$

В процессе анализа была установлена зависимость [77] значения угла свала ψ_3 в момент падения пряжи на кромку (в дальнейшем обозначенная как итоговый угол свала) от условий обработки, параметров конструкции трепальных барабанов и свойств льна. Поэтому представляла интерес оценка степени влияния этих параметров. Для этого был осуществлен численный эксперимент с использованием программы MathCAD, позволившей оценить зависимость угла свала ψ_3 от частоты вращения барабанов n_6 , угла конуса α , угла подъема винтовой линии кромки γ , длины прядей l_n и линейной плотности μ . Для каждого параметра производился расчет величины угла свала при нижнем, среднем и верхнем уровнях этого параметра, при этом остальные параметры выбирались на среднем уровне. Из полученных значений ψ_3 выбирались максимальное ψ_{3max} и минимальное ψ_{3min} , а также рассчитывалось среднее ψ_{3cp} . Значимость параметра оценивалась как $|\psi_{3max} - \psi_{3min}|/\psi_{3cp}$. Интервалы варьирования этих параметров приведены в табл. 3.1, а результаты моделирования приведены на рис 3.5.

Таблица 3.1

Исследуемые параметры и уровни их варьирования

Обозначение	Название параметров	Уровни параметров		
		нижний	нулевой	верхний
n_6	Частота вращения трепального барабана, мин ⁻¹	250	300	350
α	Угол конуса трепального барабана, град.	0	12	24
γ	Угол подъема винтовой линии кромки била, град	66	78	90
R	Радиус барабана, м	0,32	0,4	0,48
$v_{тр}$	Скорость движения транспортера, м/мин	40	60	80
l_n	Длина пряжи в поле трепания, м	0,4	0,5	0,6
μ	Линейная плотность пряжи, г/м	3	15	30

Ранжирование параметров первичного свала

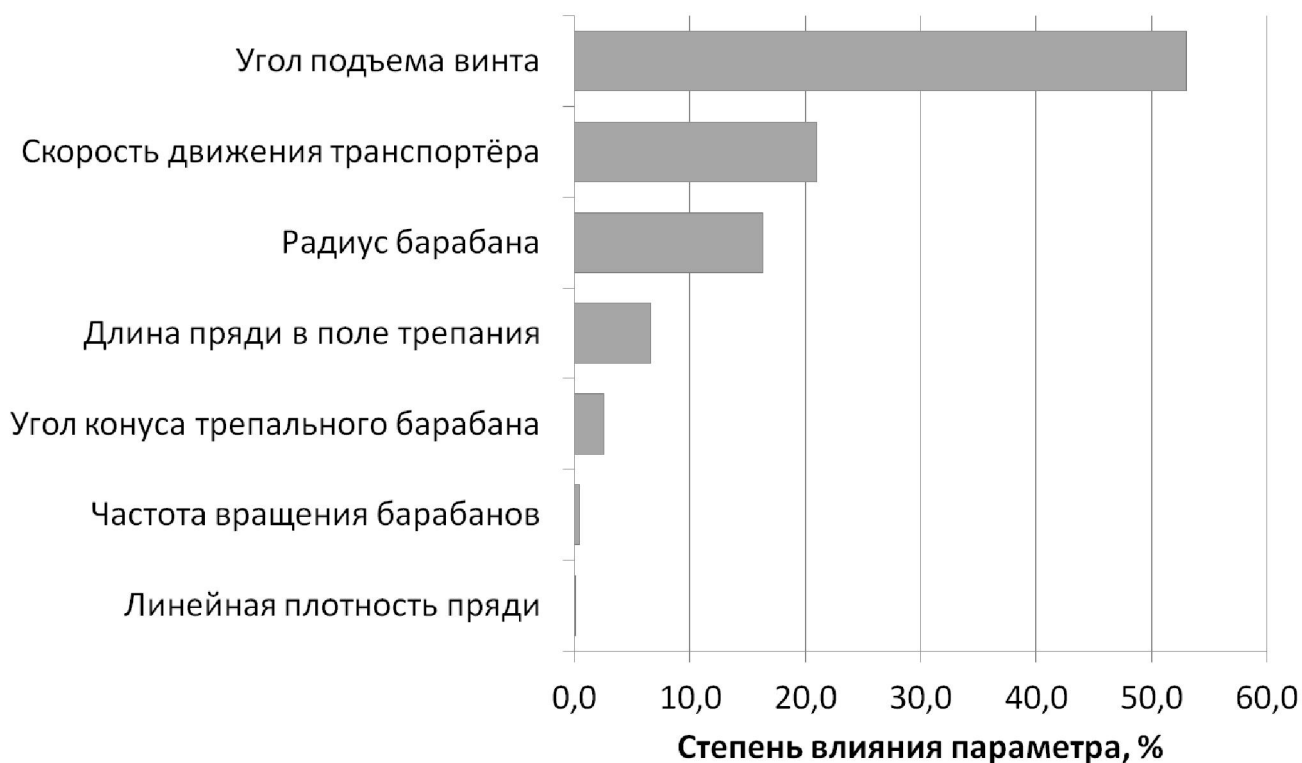


Рис. 3.5. Доля влияния режимно-конструктивных параметров на величину угла свала пряжи в момент её падения на подбильную решетку

Оказалось, что в наибольшей степени на угол свала влияют угол подъема винтовой линии кромки била, угол конуса и длина пряжи в поле трепания, причём с ростом угла подъема винта γ , угла конуса барабанов α , длины прядей L и скорости вращения барабанов n_b угол свала убывает. Остальные параметры вызывают при их увеличении рост свала. Это обстоятельство может использоваться для определения условий обработки, при которых минимизируется угол свала.

Примечательно влияние на угол свала длины свободного участка. Это представляется важным с позиции возможного перекрещивания прядей разной длины в поле трепания к моменту окончания их упомянутого перемещения. Эта ситуация реально может возникать в условиях повышенного варьирования длины прядей сырца, поступающего на обработку к трепальной машине. В этом случае нагрузка на пряди сырца может перераспределяться [55], что будет способствовать образованию волокнистых отходов.

3.3. Экспериментальная проверка существования явления свала пряди

Для экспериментальной проверки соответствия расчётных зависимостей, определяющим величину угла свала, его фактическим значениям были проведены специальные опыты с использованием экспериментального трепального станка, который оснастили [78] специально изготовленными барабанами (рис. 3.6). Угол подъема винтовой линии бильной планки и угол конуса соответствовали параметрам конструкции типовых трепальных барабанов агрегата МТА-2Л. В качестве обрабатываемого материала использовалась тканевая лента, покрытая красителем. На подбильной решётке закреплялся лист бумаги с прорезями для уменьшения сопротивления воздуха (см. рис 3.7). На этом листе после трепания оставались следы от соприкосновения с лентой (см. рис. 3.8).

Была проведена серия опытов. Эксперимент проводился для двух длин обрабатываемого участка (30 и 50 см) и двух частот вращения барабанов (150 и 300 мин⁻¹). Для каждого сочетания факторов испытание было проведено в пятикратной повторности.

В итоге были получены следы остаточного расположения пряди на подбильной решётке. Один из наиболее типичных видов расположения пряди представлен на рисунке 3.8.



Рис. 3.6. Форма бильных планок, использованных в эксперименте



Рис. 3.7. Расположение листа бумаги для отпечатков ленты на подбильной решетке била трепального барабана

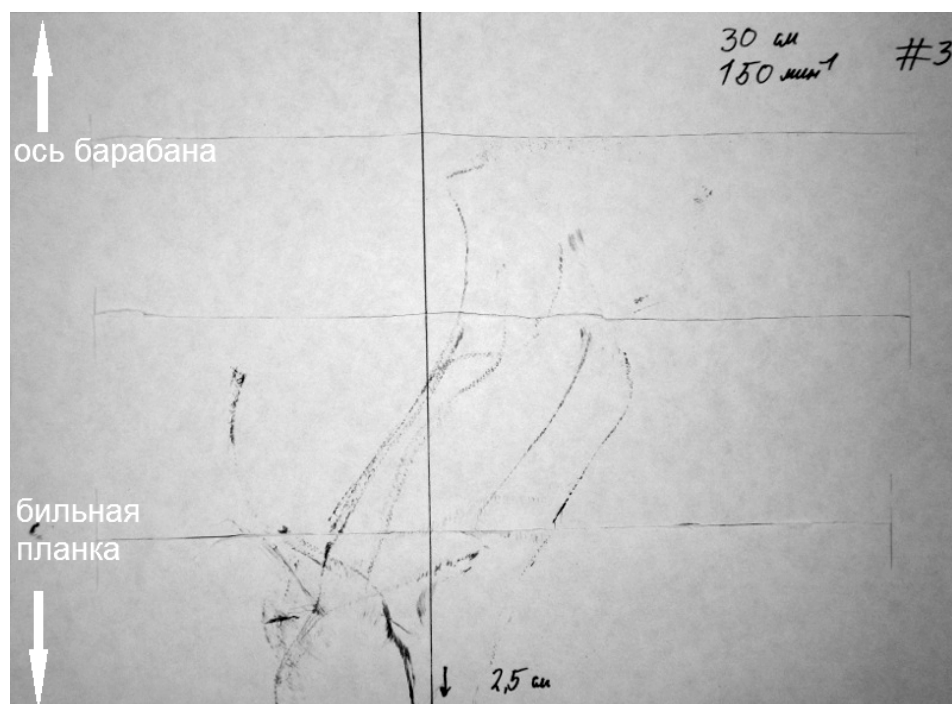


Рис. 3.8. Пример отпечатка типичных следов пряжи, полученных в ходе эксперимента

По результатам эксперимента было обнаружено, что форма отпечатков значительно отличается от прямой линии.

Для объяснения этого явления было высказано следующее предположение. Как было показано в докторской диссертации Бойко С.В. [58], в процессе падения пряди на подбильную решетку середина свободного участка пряди соприкасается с поверхностью подбильной решетки раньше, чем его конец. Из этого следует, что концевой участок продолжает подвергаться свалу и после падения середины свободного участка на кромку. Это явление было названо вторичным свалом.

В результате этого должна существенно меняться форма отпечатка. Предположительно он должен иметь вид, представленный на рисунке 3.9.

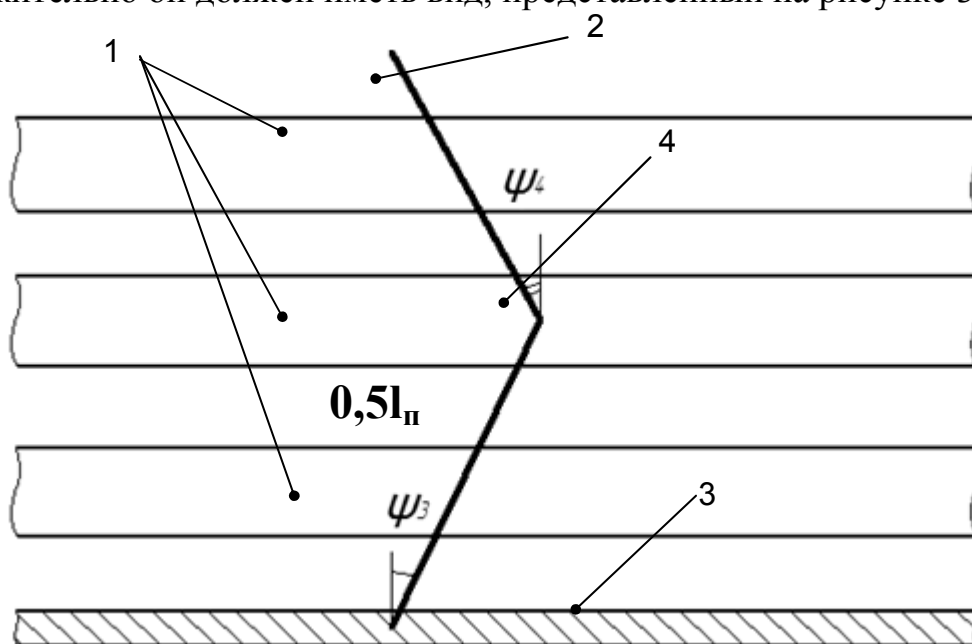


Рис. 3.9. Схематическое изображение модели вторичного свала.

1 – подбильная решетка, 2 – прядь, 3 – бильная планка, 4 – точка контакта

3.4. Анализ явления вторичного свала

Эффект вторичного свала можно упрощённо описать теми же зависимостями, что и эффект свала, описанный ранее. А потому были приняты следующие допущения.

Участок, подвергающийся вторичному свалу, представляет собой однородный стержень переменной длины, вращающийся вокруг точки соприкосновения середины свободного участка пряди с подбильной решёткой.

Подбельная решетка имеет конструкцию типа «жалюзи», предложенную Бойко С.В. [2, 58] Это позволяет пренебречь влиянием промежутков между отдельными планками.

Примем допущение, что скольжение пряди по подбельной решетке вследствие уменьшения длины пряди не приводит к смещению точки соприкосновения относительно подбельной решетки.

Начальная величина угла вторичного свала и скорости его изменения совпадают с величиной угла свала и скорости его изменения на момент падения середины свободного участка пряди на подбельную решётку. Влияние воздушной среды учтём только в виде сопротивления воздуха.

Исходя из приведённых допущений, поведение концевой участка будет описываться следующим уравнением:

$$\ddot{\psi}_4(t) + \frac{6\dot{\psi}_4(t)l_{yz}}{l_{yz}} + \text{sign}(\dot{\psi}_4(t)) \cdot \frac{3\rho}{8\mu} \cdot c_x d \cdot \frac{l_{yz}}{2} \cdot (\dot{\psi}_4(t))^2 + \frac{3}{l_{yz}} \cdot \sqrt{(g + a_{y'}(t))^2 + a_z(t)^2} \cdot \sin\left(\psi_4(t) - \arctg\left(\frac{a_z(t)}{g + a_{y'}(t)}\right)\right) = 0 \quad (3.10)$$

Используя зависимости формирования первичного свала (3.7) и вторичного свала (3.10), оказалось возможным провести оценку характера изменения угла свала свободного участка пряди к моменту его полного соприкосновения в подбельной решётке. В качестве примера возможного результата на рисунке 3.10 представлена зависимость изменения ψ_3 и ψ_4 во времени при значениях конструктивно-технологических параметров, близких к таковым во время эксперимента.

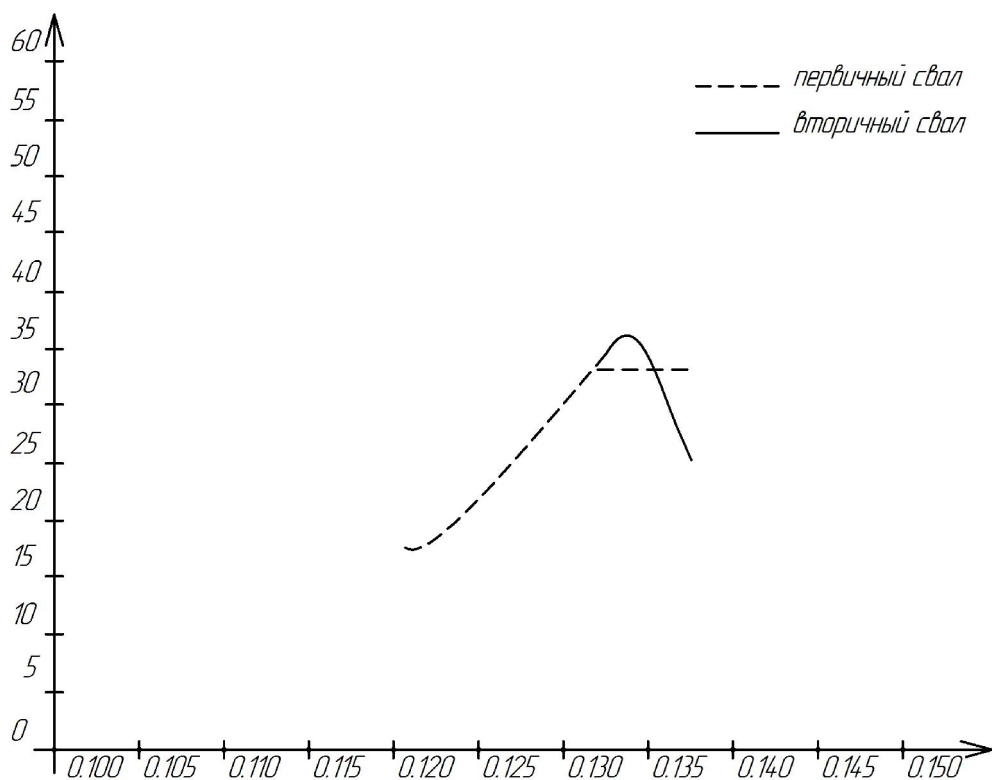


Рис. 3.10. График изменения угла свала пряди по времени ($\gamma = 78^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $l_{\text{п}} = 30$ см, $n_6 = 150$ мин-1)

Анализ полученной зависимости выявил сходство с отпечатками, получаемыми при экспериментальной проверке наличия свала пряди в процессе трепания.

Используя аналогичную методическую основу, указанную выше, было проведено ранжирование параметров, определяющих величину вторичного свала прядей. Из результатов, представленных в виде диаграммы (рис. 3.11), следуют выводы, близкие к полученным при анализе первичного свала. Однако в наибольшей степени на вторичный свал влияют угол подъема винтовой линии, угол конуса и радиус барабана. Влияние длины пряди также влияет на угол вторичного свала.

Ранжирование параметров вторичного свала

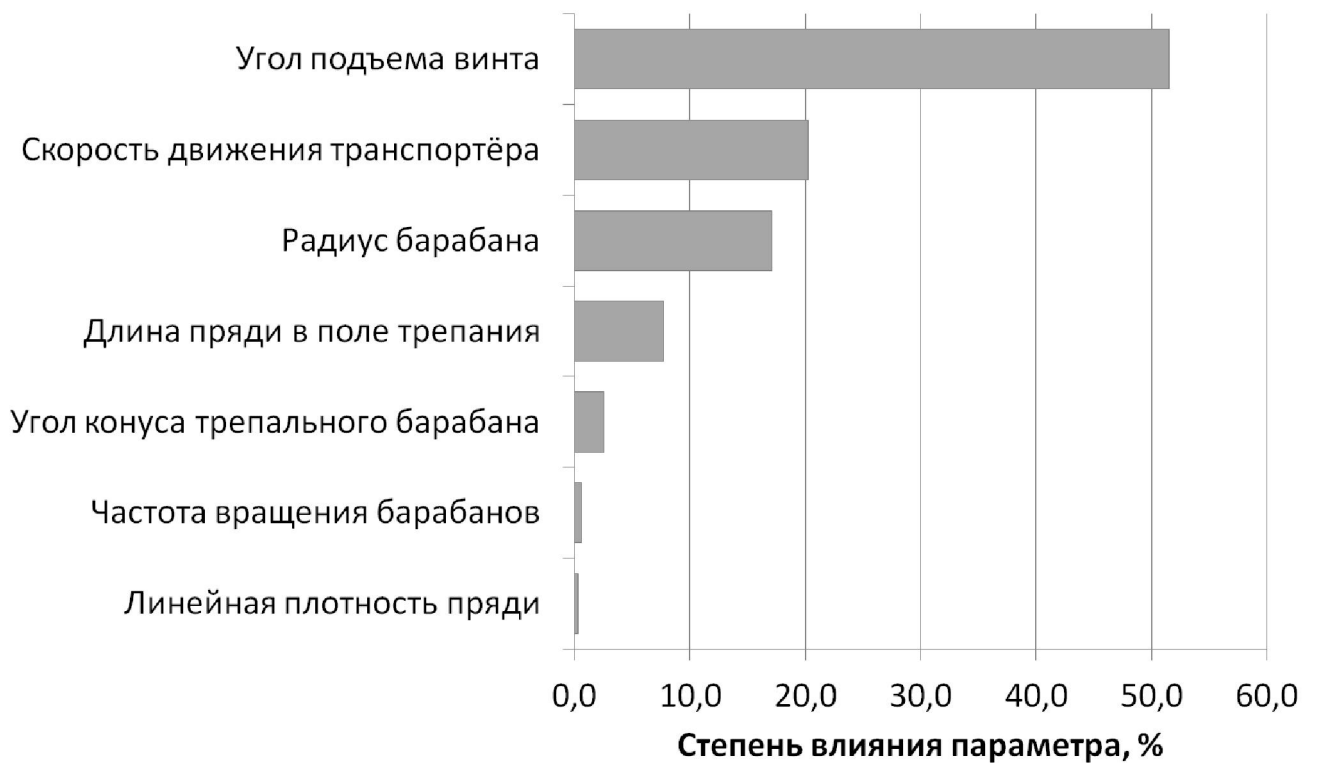


Рис. 3.11. Доля влияния параметров на величину угла вторичного свала ψ_4

Для решения задач, связанных с обоснованием направлений совершенствования процесса трепания с использованием барабанов с винтовым расположением бил и при наличии конусной части, представляет интерес исследование параметров моделей первичного и вторичного свалов. Проведем этот анализ применительно к итоговому углу свала. Результаты расчётов при различном сочетании исследуемых параметров представлены графически на рисунках 3.12 – 3.15. При их построении исходили из существенности влияния на угол первичного и вторичного свала угла конусной части барабана, угла подъема винтовой линии и длины обрабатываемого участка пряди. Дополнительно к ним оценку проводили при разной скорости вращения барабанов. Уровни указанных параметров представлены в подрисуночных надписях.

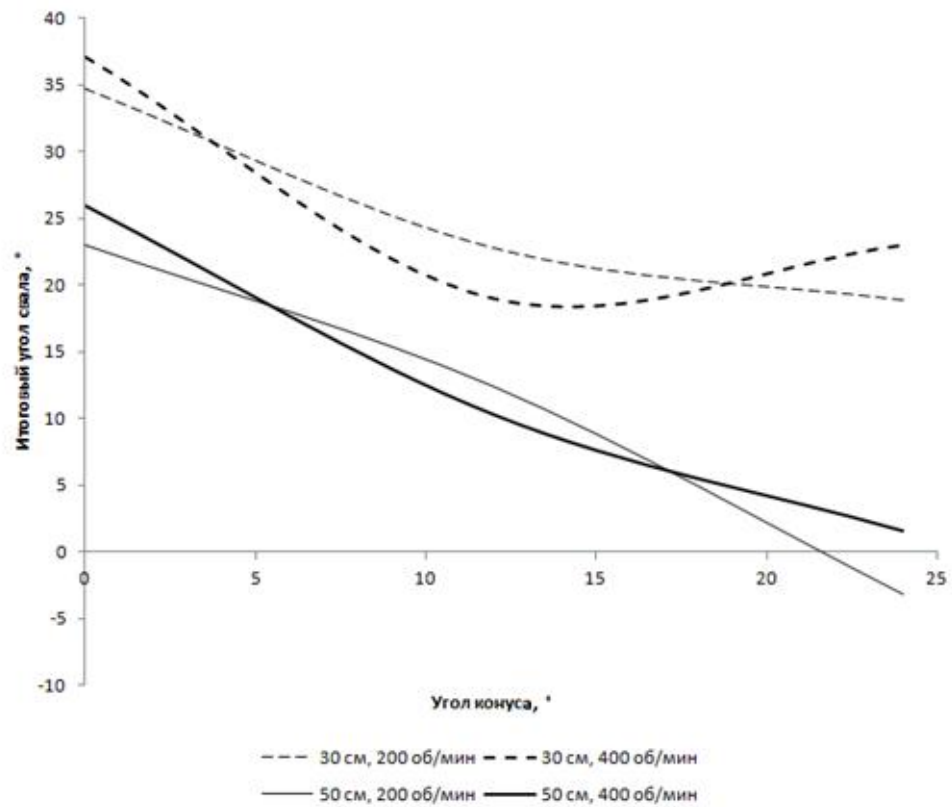


Рис. 3.12. Изменение величины итогового угла свала ψ_3 в зависимости от угла конуса барабана α ($\gamma = 78^\circ$, $n_{\delta} = 200 \dots 400 \text{ мин}^{-1}$, $l_n = 30 \dots 50 \text{ см}$)

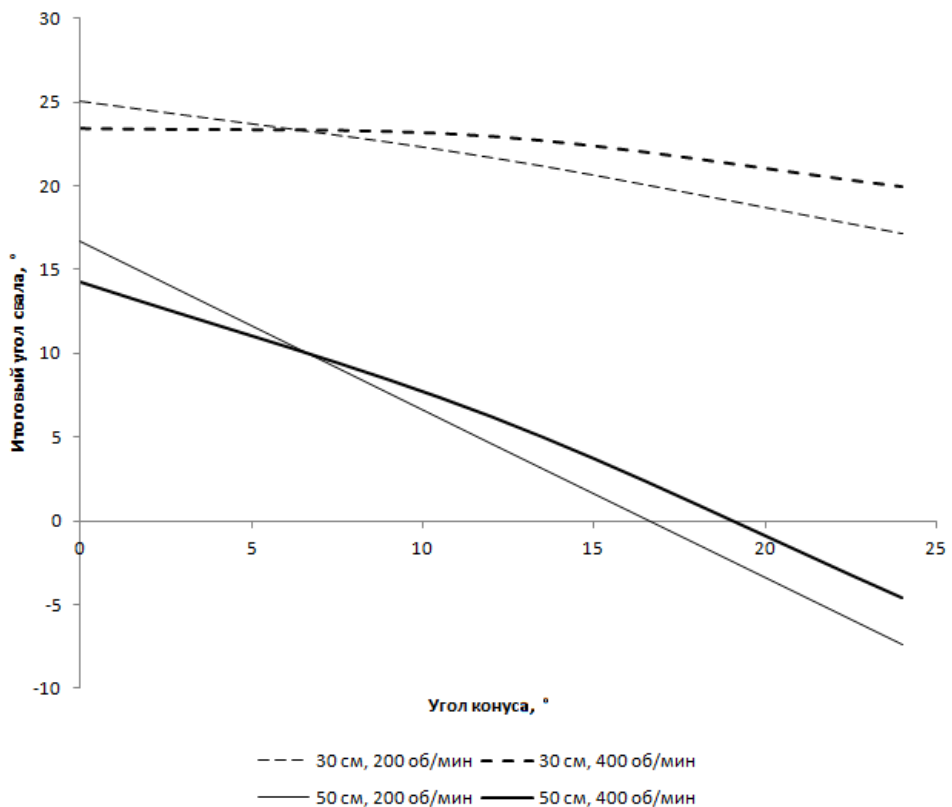


Рис. 3.13. Изменение величины итогового угла свала ψ_3 в зависимости от угла конуса барабана α ($\gamma = 84^\circ$, $n_{\delta} = 200 \dots 400 \text{ мин}^{-1}$, $l_n = 30 \dots 50 \text{ см}$)

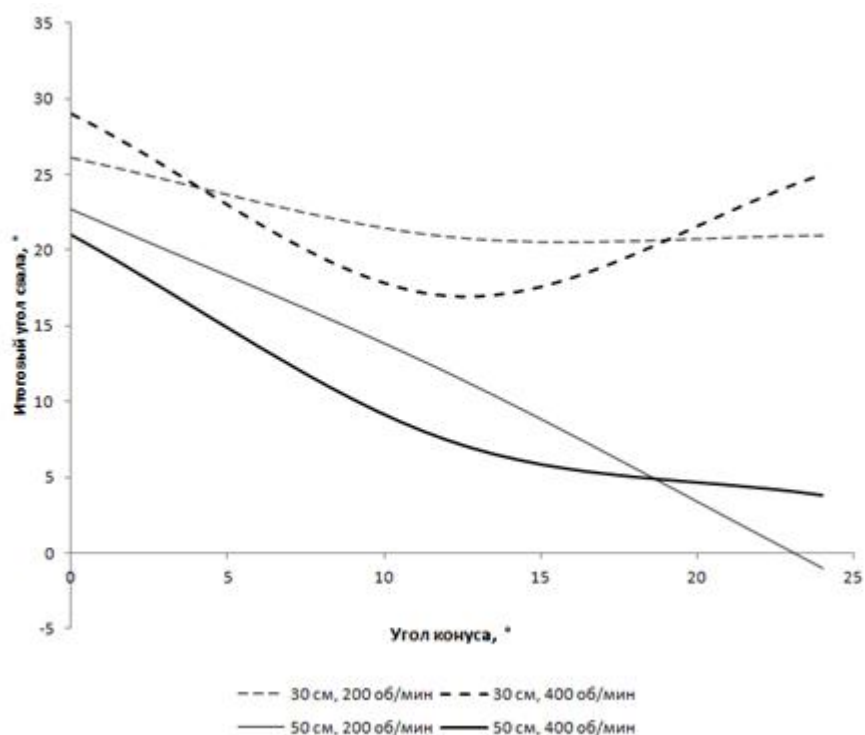


Рис. 3.14. Изменение величины итогового угла вторичного свала ψ_4 в зависимости от угла конуса барабана α ($\gamma = 78^\circ$, $n_o = 200 \dots 400 \text{ мин}^{-1}$, $l_n = 30 \dots 50 \text{ см}$)

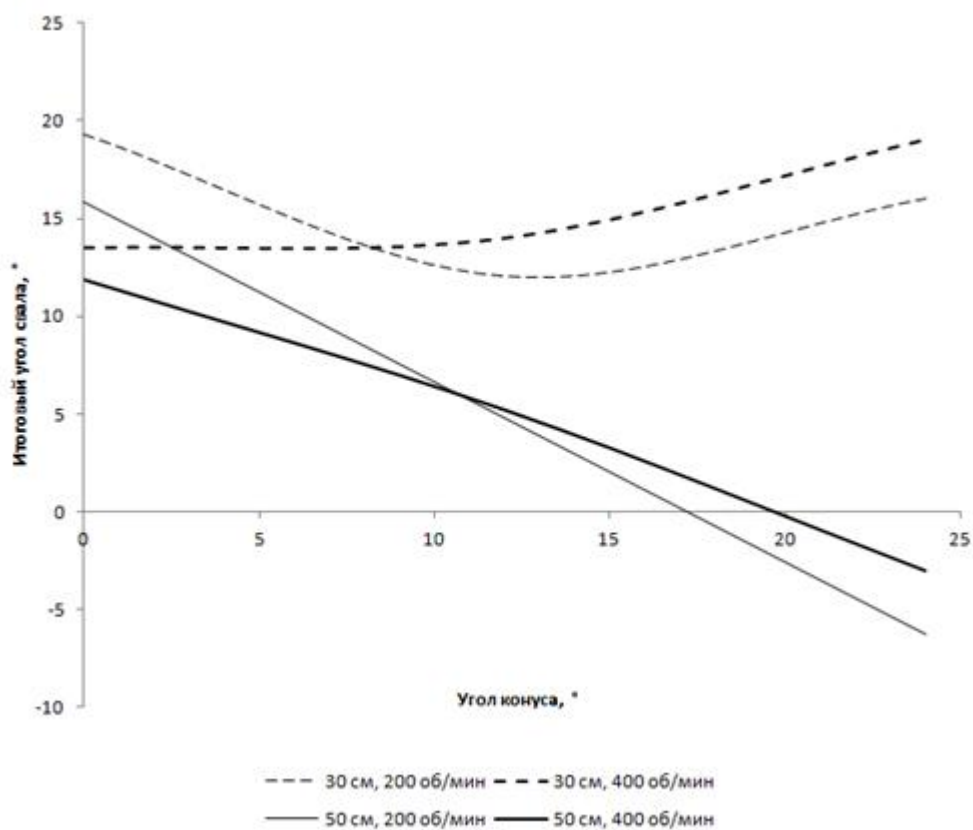


Рис. 3.15. Изменение величины итогового угла вторичного свала ψ_4 в зависимости от угла конуса барабана α ($\gamma = 84^\circ$, $n_o = 200 \dots 400 \text{ мин}^{-1}$, $l_n = 30 \dots 50 \text{ см}$)

Из анализа полученных зависимостей следует, что с увеличением угла конуса α с 0° до 24° итоговый угол свала всегда снижается на $5...20$ градусов в зависимости от значений других параметров. Однако если это положительное снижение рассматривать применительно к пряжам разной длины, то итоговые значения угла свала для разных по длине пряжей будут иметь существенные отличия. При $\alpha = 24^\circ$ величина этих отличий может достигать 30 градусов, что отрицательно скажется на нагружении пряжей. Некоторые из них (более длинные пряжи) могут располагаться вертикально, а другие более короткие под углом, что может приводить к перераспределению нагрузки на них. В итоге длинностебельное сырьё с большей степенью вероятности может подвергаться обрыву вследствие локального увеличения сил натяжения.

Из результатов анализа сложно заключить о влиянии угла конуса на технологический результат обработки. С одной стороны, при увеличении угла конуса итоговый угол свала уменьшается, но с другой стороны возрастает перекрещивание пряжей.

В этой связи обращает внимание зона углов конуса $10^\circ...15^\circ$ при угле подъема винтовой линии кромки 78° . Оказалось, что при таком сочетании минимизировано различие конечных углов свала у длинных и коротких пряжей. При уменьшении угла подъёма винтовой линии эта разность возрастает.

Таким образом, целесообразно в условиях разработки новых конструкций трепальных барабанов параметры конусной части трепальных барабанов по углу конуса и углу подъёма винтовой линии бил выбирать исходя из минимизации угла свала и степени перекрещивания пряжей разной длины. Очевидно, что по длине конусной части эти сочетания будут меняться, что предопределяет её конструкцию.

Применительно к случаю использования существующих на практике трепальных барабанов (где нет возможностей по изменению угла конуса и угла винта бил), важным практическим выводом является наличие перекрещивания пряжей из-за их разной длины.

Нельзя не отметить еще одну причину, приводящую к перекрещиванию прядей в условиях принятых допущений при построении моделей для расчёта углов первичного и вторичного свалов. Эта причина связана с влиянием линейной плотности прядей (см. рис. 3.5). Важность учета этого параметра обусловлена особенностями поступления в активную зону обработки участков слоя, имеющих разную длину, при сходе с края противонамоточной воронки. Такие участки слоя представляют собой совокупность прядей в виде отдельных горстей, расположенных в слое случайно. Линейная плотность этих участков имеет повышенное значение и подвержена варьированию. Предварительные наблюдения и опыты позволили принять интервал изменения линейной плотности указанных участков прядей (горстей) от 3 до 60 г/м.

Таким образом, с использованием моделей (3.9) и (3.10) было изучено совместное влияние длины прядей и их линейной плотности на изменение исследуемых углов свала. Иные параметры, входящие в состав моделей, были следующие: угол подъема винтовой линии била 78° , угол конуса барабана 12° , частота вращения барабанов 300 мин^{-1} , скорость движения транспортера 60 м/мин.

Полученные результаты представлены в виде 3-D графиков на рисунках 3.16 и 3.17. Их анализ позволяет заключить о меньшем влиянии на угол свала массы прядей в сравнении с их длиной. Однако при формировании первичного свала в процессе трепания прядей разной массы разница углов их свала может достигать 2-6 градусов. При этом общая разница по углу свала прядей от совместного влияния их длины и массы может достигать 10-12 градусов.

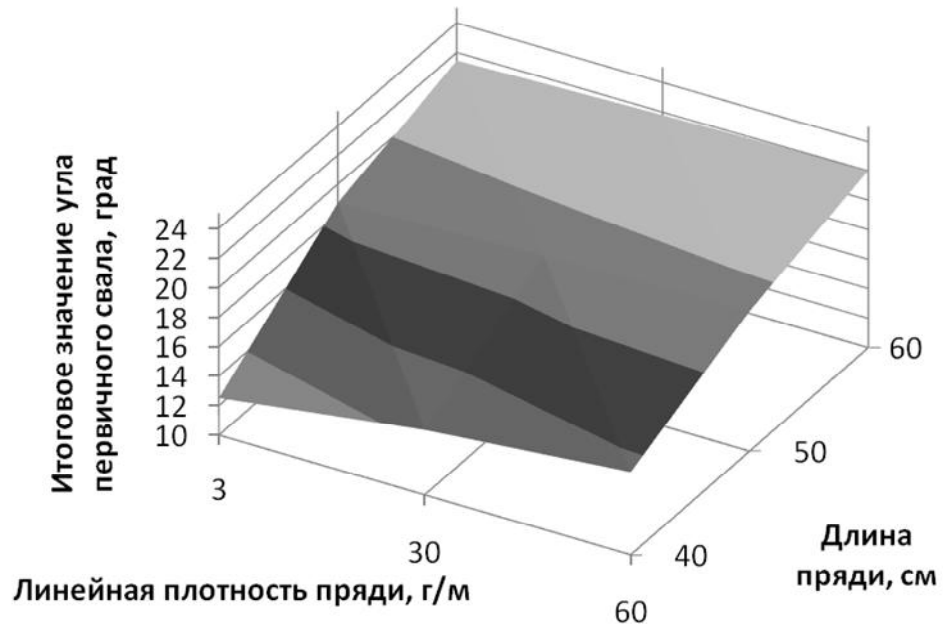


Рис. 3.16. Зависимость угла первичного свала от длины пряди (горсти) в поле трепания и её линейной плотности

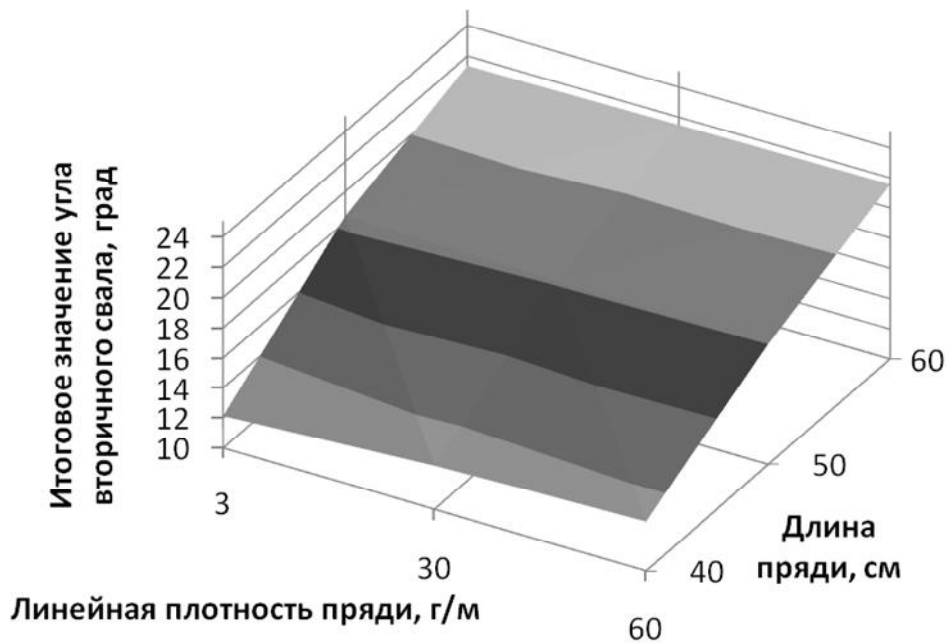


Рис. 3.16. Зависимость угла вторичного свала от длины пряди (горсти) в поле трепания и её линейной плотности

Ранее [79] нами было проанализировано влияние воздушного потока, движущегося вдоль осей барабана, существование которого было показано

Суловым Н.Н. В результате проведенного анализа влияния воздушных потоков в направлении вдоль зоны трепания было установлено следующее.

Вследствие взаимодействия воздушного потока с элементами конструкции барабана, а также с неоднородным по структуре слоем льнотресты, величина продольной составляющей скорости этого потока будет варьироваться. Таким образом, угол перекрещивания прядей разной длины и массы в продольной плоскости зоны трепания также можно считать случайной величиной, интервал варьирования которой зависит от величины скорости воздуха и линейной плотности прядей.

Величина угла перекрещивания прядей разных длин и масс может достигать значительных величин, зависящих от интервала изменения скорости воздуха в продольной плоскости поля трепания. Уточнения значений углов перекрещивания целесообразно осуществлять на основе сопоставления расчетных и опытных данных.

Заключение по главе 3

При исследовании процесса трепания с использованием барабанов с винтовым расположением бил и наличием входной конусной части, были получены математические модели свободного перемещения пряди в активной зоне обработки трепальной машины. Новизной и особенностью моделей является учет движения пряди вдоль рабочей кромки била в момент её схода с него. С учетом этого впервые удалось предсказать наличие углового свала прядей в продольной плоскости зоны трепания. Установлено, что величина углового свала зависит от совокупности режимно-конструктивных параметров трепальной машины.

При проведении расчетных экспериментов выявлена необходимость учета вязкости среды (воздушной) в которой происходит перемещения свободного участка пряди. Данный учет позволил уточнить упомянутую модель свала.

Для экспериментальной проверки существования углового свала прядей изготовлены макетные образцы трепальных барабанов, конструкция которых соответствует барабанам, применяемым на практике: с наличием конусной части и винтовым расположением бил.

При проверке получено подтверждение факта формирования углового свала прядей, а также выявлено его двухэтапное формирование, путем образования первичного и вторичного углов свала. С использованием результатов опубликованных исследований Бойко С.В. и Пашина Е.Л. предложена математическая модель для расчета вторичного угла свала.

При исследовании параметров моделей формирования первичного и вторичного углов свала установлено влияние на их величину длины и линейной плотности прядей. В этой связи сделан вывод о возможном перекрещивании прядей в момент их расположения на подбильной решетке била после свободного перемещения в зоне обработки. Показано, что при существующей на практике конструкции трепального барабана, пряди разной длины и массы будут всегда перекрещиваться, способствуя тем самым ухудшению результатов трепания.

Влияние угла конуса и угла подъема винтовой линии значительно изменяется в процессе вращения барабана. Влияние винтообразной формы кромки бильной планки и влияние конусного участка трепального барабана большую часть времени обработки противонаправлены. Изменение скорости транспортёра влияет на сгруживание незначительно.

С использованием результатов опубликованных работ о влиянии воздушных потоков, имеющих место в зоне обработки трепальной машины, был осуществлен анализ влияния воздушных потоков в направлении вдоль зоны трепания на характер перемещения свободных участков прядей разной длины и массы. Установлено следующее.

Угол перекрещивания прядей разной длины и массы в продольной плоскости зоны трепания можно моделировать случайной величиной, интервал варьирования которой зависит от величины скорости воздуха и линейной плотности прядей.

Величина угла перекрещивания прядей разных длин и масс может достигать значительных величин, зависящих от интервала изменения скорости воздуха в продольной плоскости поля трепания. Уточнения значений углов перекрещивания целесообразно осуществлять на основе сопоставления расчетных и опытных данных.

Из совокупности полученных в главе 3 результатов вытекает необходимость разработки рекомендаций (технических решений) для улучшения конструкции существующих трепальных барабанов с использованием их входной конической части и винтового расположения бил. Требуемое улучшение должно обеспечить снижение угла свала для прядей разной длины и массы.

При создании новой конструкции трепальных барабанов целесообразно по длине конусного участка изменять величины угла конуса и угла подъёма винтовой линии с тем, чтобы минимизировать величину углов перекрещивания прядей с разными параметрами.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ СМЕЩЕНИЙ ПРЯДЕЙ В ПРОДОЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЫ

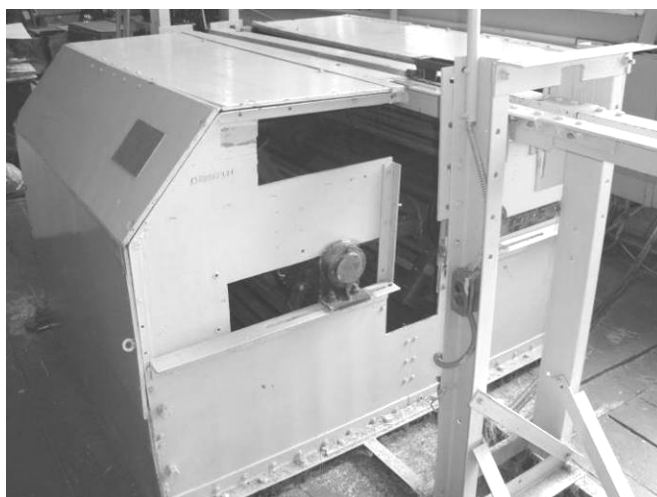
4.1. Исследование поведения прядей в зоне трепания барабанами с наличием входной конусной части и винтовым расположением бил

Теоретические изыскания (подраздел 3.3) показали, что пряди разной длины в разной степени подвержены угловому свалу, что должно вызывать способствовать их перекрещивание. В этом случае силы натяжения прядей становятся различными [55] и поэтому у более натянутых прядей повышается вероятность их разрыва. Кроме этого, при перекрещивании возникают локальные утолщения в слое. При перемещении таких участков по кромке (при огибании её) формируются условия, при которых возрастают усилия натяжения. В [80] с использованием модели для расчета, предложенной Цитовичем И.Г. [81], дана оценка увеличения усилий. Установлено, что они могут возрастать более, чем в два раза. Указанные негативные эффекты от перекрещивания прядей могут приводить к увеличению потерь длинного волокна.

Для проверки этих выводов были проведены эксперименты на модернизированном экспериментальном трепальном станке [78]. За основу был взят станок для экспериментального исследования процесса трепания лубяных волокон, созданный в 1980 г. сотрудниками Костромского технологического института и установленный на кафедре ТПЛВ КГТУ [47]. Суть модернизации заключалась в использовании барабанов новой конструкции. Барабаны были выполнены с конусообразной входной частью и с винтовым расположением бил (рис. 4.1). После этого было обеспечено повторение в основных чертах форм

барабанов, используемых на практике трепальных машин, входящих в состав агрегата МТА-2Л.

У модернизированных барабанов их радиус, угол винтовой линии и параметры конусной части барабана при необходимости могут изменяться. Такая конструкция позволяет моделировать прохождение материала через начальные участки трепальной секции, где происходит выделение основной массы костры.



а)



б)

Рис. 4.1. Внешний вид экспериментального трепального станка (а) и барабанов новой конструкции (б)

Для экспериментального исследования параметры барабанов приняты следующими: число бил – 3, радиус барабана в цилиндрической части – 0,43 м,

угол подъема винтовой линии бильных планок – 12 градусов, ширина бильных планок – 75 мм, радиус закругления рабочей кромки бильных планок – 1 мм, сечение барабана, в котором проводились измерения – 75% длины конусной части.

Перед реализацией серии опытов по оценке величины углов перекрещивания пряжей разной длины были проведены наблюдения за их поведением в зоне трепания с использованием скоростной фотосъёмки. Для обеспечения однообразия условий фотофиксации в качестве протрепываемых волокон использовались фрагменты тесьмы с линейной плотностью, сходной с плотностью пряжей и длиной 40 и 60 см.

Обрабатываемые фрагменты пряжей зажимались в колодке трепального станка и пропускались через зону трепания. Процесс снимался на видео со скоростью 420 кадров в секунду камерой CASIO EX-FH25. Отснятый материал затем обрабатывался следующим образом: после того, как обрабатываемые пряжи попадали в интересующее нас сечение, с помощью покадрового просмотра выбирался момент, когда плоскость подбильной решетки была перпендикулярна оптической оси камеры. Камера была расположена таким образом, что к этому моменту прядь уже завершала своё падение на подбильную решетку. Были получены кадры, подтверждающие наличие факта перекрещивания пряжей (рис. 4.2). Поэтому на следующем этапе было принято решение провести более детальный эксперимент для оценки значений углов перекрещивания.

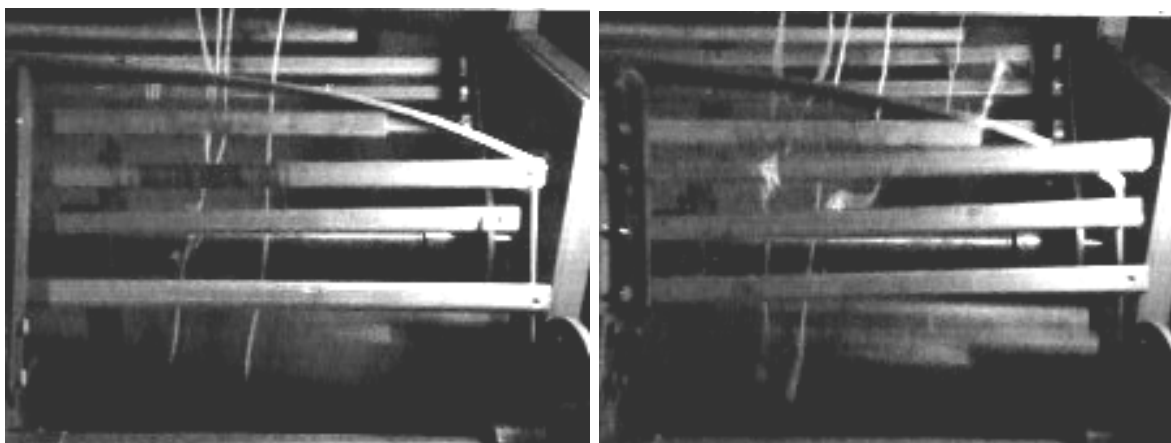


Рис. 4.2. Типичные кадры из полученной видеозаписи

В ходе планируемого эксперимента была поставлена задача зафиксировать расположение на подбильных решётках обрабатываемые пряжи. Поэтому в колодку трепального станка зажимали покрытые красителем фрагменты шнура различной длины (35 и 55 см), которые затем пропускались сквозь зону трепания с продольной скоростью 60 м/с при частоте вращения барабанов 300 мин^{-1} . Для фиксации следов от пряжей на подбильных решетках закреплялись листы бумаги с прорезями, на которых после пропуска оставались отпечатки, соответствующие положению фрагмента в момент его полного падения на подбильную решетку. Отдельные этапы реализации эксперимента представлены на рисунке 4.3.

Объем проведенных экспериментов составлял более 60 реализаций, что обеспечивало требуемую точность. После каждого пропуска и трепания пряжей листы с отпечатками снимали с подбильной решетки (рис. 4.4) (в каждом опыте использовалось 6 листов, что соответствовало числу бил на барабанах). Далее на листах фиксировали значения углов перекрещивания в виде абсолютной разности углов свала (отдельно первичного и вторичного).

Предварительный анализ опытных данных выявил разброс по величине углов перекрещивания. По нашему мнению это явилось следствием действия на пряжу воздушных потоков перемещающихся вдоль зоны трепания. Было принято во внимание исследование Сулова Н.Н. [26], показывающее существование этих потоков и дающее оценку их скорости. Нами была высказана гипотеза, что скорость перемещения этих воздушных потоков является случайной величиной, зависящей от изменяющихся режимно-конструктивных факторов, в том числе от циклических перемещений бил. Поэтому можно допустить, что упомянутый разброс вызван хаотическим воздействием турбулентных потоков воздуха.

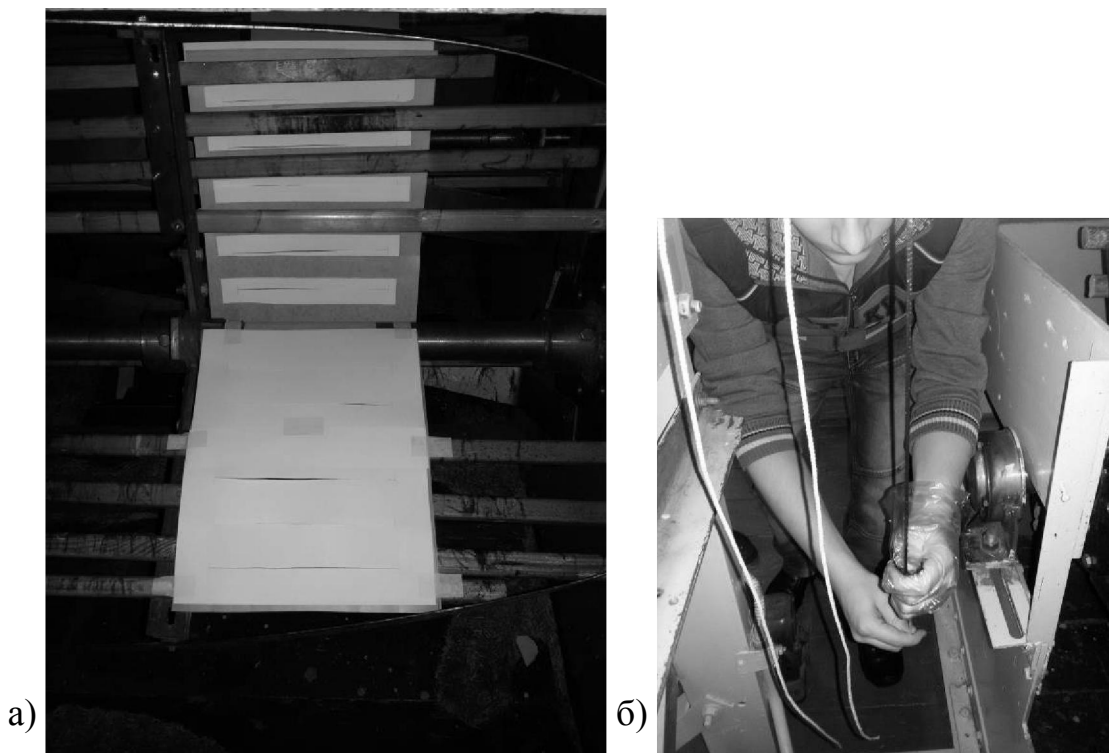


Рис 4.3. Размещение листов бумаги на подбильных решетках (а) и нанесение красителя на обрабатываемый материал (б)

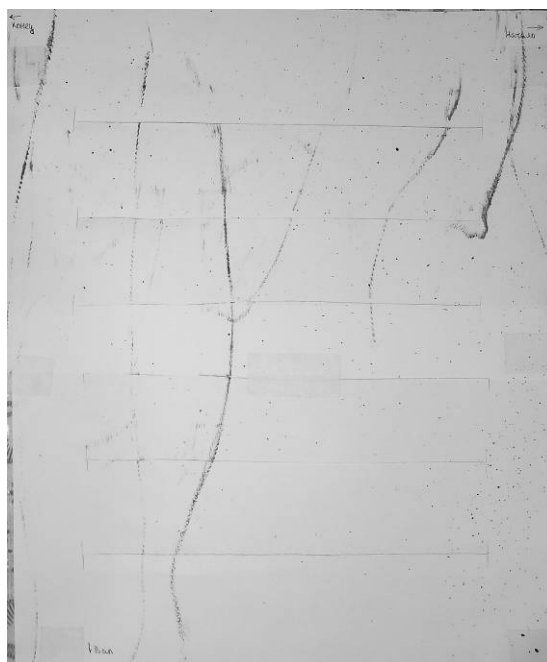


Рис. 4.4. Типичные отпечатки следов прядей

Для статистической обработки результатов опытов были использованы результаты замеров и расчетов разницы углов первичного ($\Delta\psi_{3д} - \Delta\psi_{3к}$) и вторичного ($\Delta\psi_{4д} - \Delta\psi_{4к}$) углов свалов для прядей разной длины. Минимальный объём выборки включал 78 значений разницы углов. Максимальный – 141.

Сформированные таким образом массивы разниц углов, были представлены в виде гистограмм по классам углов (рис. 4.5).

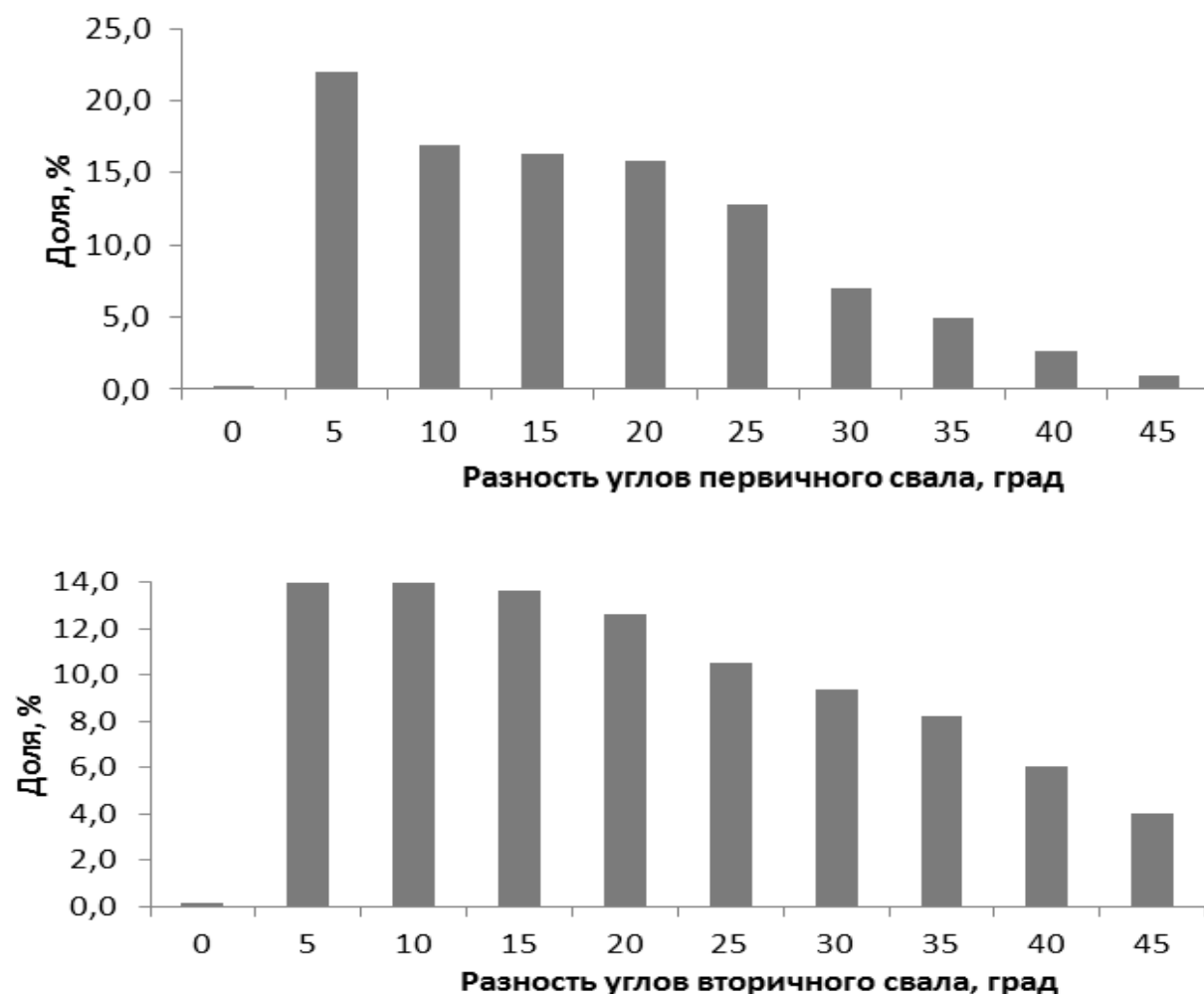


Рис. 4.5. Распределения разностей углов свала (по модулю)
для разнодлинных пряжей

Из представленных графиков следует, что различия угловых смещений (по модулю) для первичного и вторичного свалов пряжей разной длины изменяются в интервале от 0 до 45 градусов. Причиной варьирования, как это было указано выше, предложено считать случайно меняющиеся продольные потоки воздушных масс и, вероятно, иные параметры, определяющие взаимодействие с данными потоками. Из эксперимента также следует, что углы свала у пряжей разной длины не одинаковые.

Установлено, что перекрещивание прядей в области вторичного свала более выражено, чем в области первичного. Наиболее вероятные значения углов перекрещивания находятся в зоне 5-20 градусов.

Однако эксперименты показали возможность появления значительных по величине углов перекрещивания, вплоть до 45 градусов. Это обстоятельство подтверждает предположение, что на угловые смещения могут влиять случайные, не учитываемые моделью факторы. К ним, прежде всего, следует относить влияние случайно изменяющихся по скорости продольных воздушных потоков, а также случайно меняющихся параметров структуры слоя: длина прядей и их линейная плотность [79]. Вероятно, проявляется влияние и других обстоятельств, не учтенных по причине принятия допущений при расчётном определении углов свала с использованием представленных в главах 2 и 3 моделей. По нашему мнению, это относится к рассмотрению пряди, как однородного стержня, неполному учету сил сопротивления воздуха, а также предположению о том, что подвергающийся сгуживанию участок пряди занимает требуемое положение мгновенно. Однако указанные допущения не смогли повлиять на впервые выявленный по результатам теоретического исследования факт наличия угловых смещений свободных участков прядей в продольной плоскости, а также факт возможного перекрещивания прядей разной длины.

Относительно уточнения моделей, путем исключения указанных допущений, следует отметить, как о задаче, которая может решаться на последующих этапах исследования, например связанной с развитием и обобщением существующих теоретических представлений о процессе трепания.

Важно отметить, что принципиально важным результатом проведенного эксперимента является подтверждение на качественном уровне наличия угловых смещений прядей в продольной плоскости, при разной длине которых формируется их перекрещивание.

Применительно к полученному результату, важность вытекающих из него выводов состоит в разработке рекомендаций по исключению или по минимизации формирующихся углов перекрещивания прядей разной длины для исключения

условий разрыва наиболее нагруженных прядей. Различия по силам натяжения при таком нагружении прядей могут по расчетам достигать существенных значений. Максимальные усилия натяжения могут превышать средние до 5 раз [80].

4.2. Возможные конструктивные решения для минимизации негативных эффектов от скрещивания прядей при трепании

4.2.1. Обоснование возможностей снижения повышенных сил натяжения за счет использования амортизации входной горки трепальной машины

Возникающее в результате перекрещивания прядей повышение сил натяжения [83] предложено снижать, используя эффект амортизации по аналогии с [84]. С этой целью при введении слоя сырца в активную зону обработки трепальной машины, то есть в зоне входного конуса, предлагается входную горку (далее - горка), установить на упругом основании. Например, это возможно при использовании схемы, представленной на рисунке 4.6.

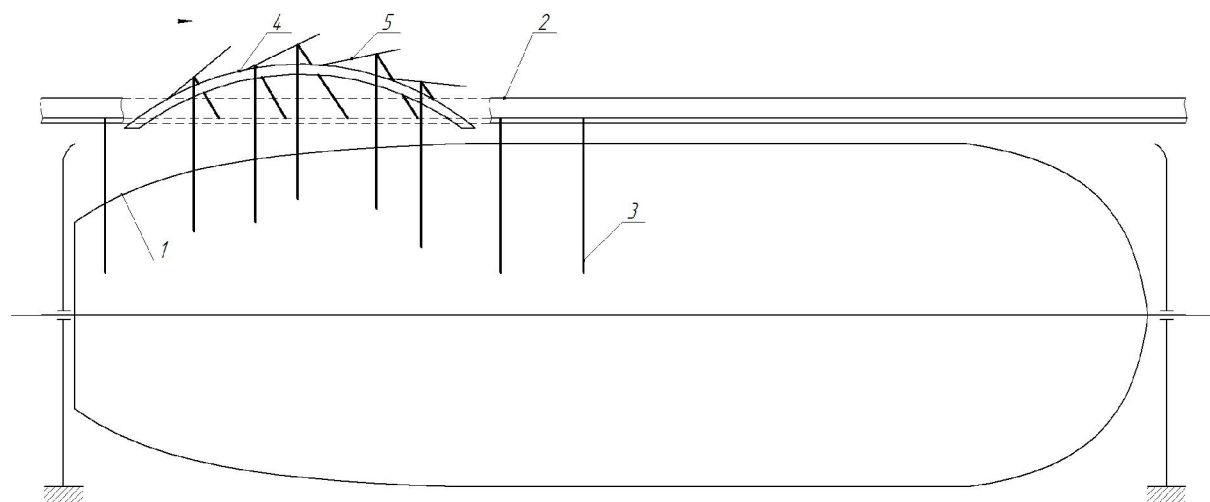


Рис. 4.6. Предлагаемый вариант модернизации конструкции «Горки» трепальной машины: 1 – бильные планки, 2 – зажимной транспортер, 3 – обрабатываемый материал, 4 – основание горки, 5 – упругие элементы

При таком варианте конструкцию «горки» можно представить, как двухмассовую колебательную систему, характеристики которой должны быть подобраны так, чтобы обеспечивалось наибольшее снижение силы натяжения пряжи при её нагружении [85]. «Горку» предложено [86] выполнить в виде совокупности консольно расположенных в вертикальной плоскости с перекрытием по длине упругих элементов. Разная высота их расположения элементов не исключает решение основной технологической задачи «горки». При её прохождении пряжи слоя сначала выводятся из зоны обработки, а затем – вновь опускаются в поле трепания. При использовании упругих элементов, обеспечивающих амортизацию пряжей, перемещающееся вдоль зоны трепания волокно огибает их, что вызывает формирование сил реакции от воздействия бил и, как следствие, их деформацию (прогиб). Это должно обеспечивать снижение пиковых сил натяжения.

С целью проверки этого варианта снижения сил натяжения пряжей был проведен эксперимент с использованием метода тензометрии (рис. 4.7). Обрабатываемая пряжа имитировалась тканевой лентой, прикрепленной к тензодатчику. Эксперимент производился в двух вариантах. В первом из них лента непосредственно спускалась в поле трепания станка, во втором она закреплялась к упругому основанию в виде консоли круглого сечения диаметром 2 мм с модулем продольной упругости $625 \cdot 10^3$ кГс/см².

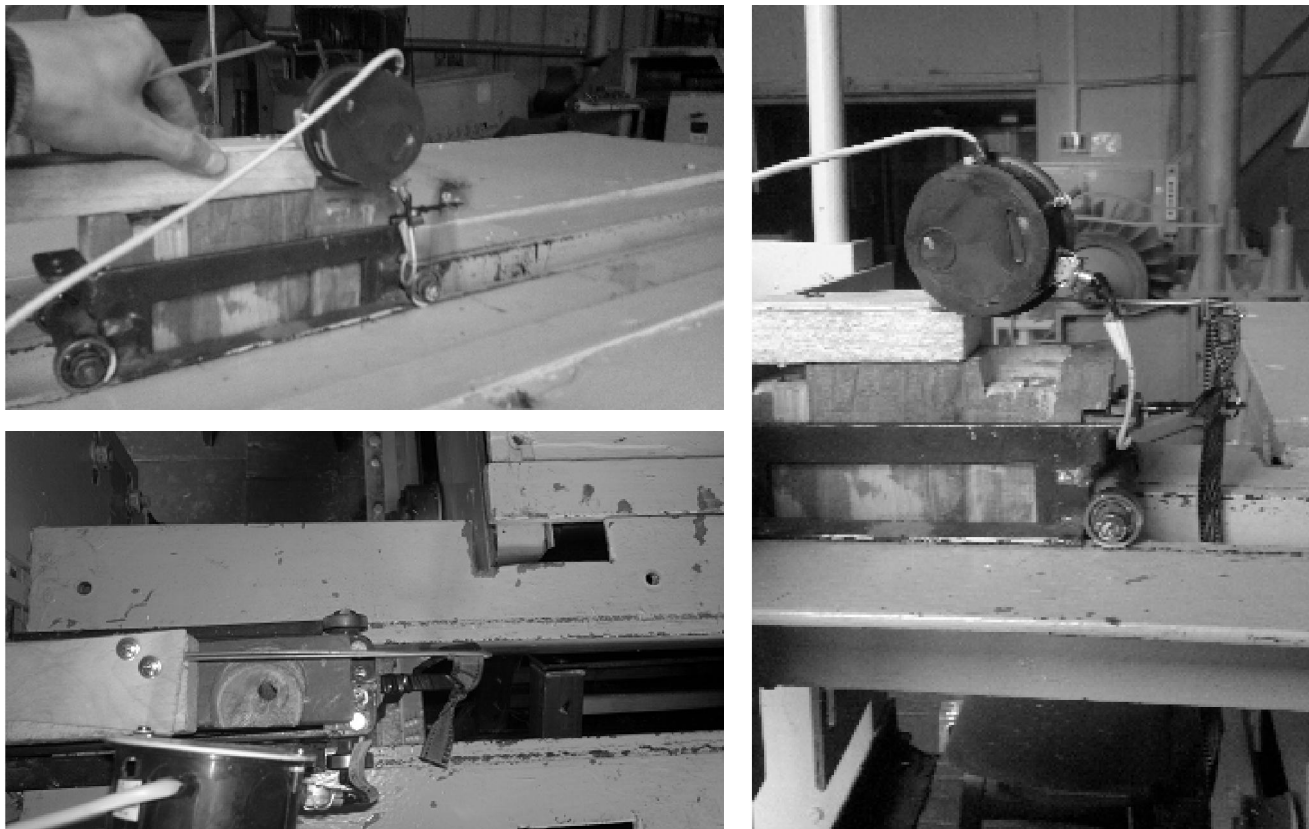


Рис. 4.7. Установка для оценки величины силы натяжения пряжи

Измерительная система усилий включала каретку с закрепленной к ней тензобалкой, на которой фиксировали тесьму. Для имитации поведения пряжи на «горке» тесьму пропускали через отверстие на конце упругой консоли, а свободный конец тесьмы длиной 65 см подвергали трепанию при частоте вращения барабанов 150 и 300 мин^{-1} .

Тензобалку калибровали с применением аналого-цифрового преобразователя L-Card E14-140 и ноутбука с программным комплексом LGraph 2. Питание системы осуществлялось от аккумулятора ноутбука для исключения влияния перепадов напряжения в питающей сети.

В результате испытаний были получено около 10000 сравнительных реализаций опыта, что обеспечило относительную ошибку опыта 0,14%. Результаты статистической обработки представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Результаты обработки тензосигналов при проведении опытов

Статистические характеристики, даН	Варианты опытов			
	Жесткое закрепление пряди при скорости вращения барабанов (ω)		Упругое закрепление пряди при скорости вращения барабанов (ω)	
	$\omega = 150$ об/мин	$\omega = 300$ об/мин	$\omega = 150$ об/мин	$\omega = 300$ об/мин
Среднее значение	2,92	6,30	1,81	2,24
Стандартное отклонение	1,46	1,22	0,39	0,38
Максимальное значение	12,24	16,62	4,02	5,21
Доверительный интервал	0,02	0,017	0,005	0,005

Сравнительный анализ сил натяжения подтверждает возможность снижения пиковых нагрузок с использованием упругого элемента. Этот вывод следует из различий стандартных отклонений и максимальных значений сил натяжений по вариантам опыта. Установлено, что наличие упругого основания снижает максимальную нагрузку примерно в три раза.

При принятии решения о возможном использовании «Горки» с упругими элементами было обращено внимание на результаты теоретических расчетов, из которых следует зависимость уровня снижения сил натяжения от массы обрабатываемых прядей [85]. Между тем известно, что величина этих масс, определяемая длиной стеблей в слое, подвержена системному варьированию. Поэтому для обеспечения проявления требуемого эффекта амортизации необходимо соответствие параметров упругости гибкого элемента массе обрабатываемых прядей. Такое условие требует специальной системы изменения упругости элементов «Горки» в зависимости от длины поступающих прядей. Это затрудняет использование предложенного решения по снижению сил натяжения прядей. В итоге принято решение дальнейшую проработку конструкции «Горки» с упругими элементами не осуществлять.

4.2.2. Исследование конструкции узла барабанов для параллелизации обрабатываемых прядей на начальных этапах трепания

Для снижения негативных последствий от перекрещивания прядей была предложена идея по их параллелизации при их сходе с поверхности подбильной решетки. Для этого пряжи, попадающие на решетку с разным углом свала, при их последующем движении в радиальном направлении можно параллелизовать посредством воздействий щадящего прочеса.

Для реализации этого был предложен вариант модернизации входной части трепального барабана [87] в виде использования параллелизующей решетки из радиально расположенных стержней или пластин, закрепленных перед подбильной решеткой бил (рис. 4.8).

Минимальное расстояние между элементами решетки определялось исходя из предположения о том, что воздействие стержней решетки более эффективно, если большая часть прядей взаимодействует только с одним элементом решетки. На основе наблюдений при скоростной фотофиксации установили примерное значение расстояния между элементами решётки, равное ~25..30 мм.

Для экспериментальной проверки был изготовлен экспериментальный образец параллелизующей решетки (далее решётка) в виде стержней диаметром 5 мм, шаг стержней 30 мм, их длина 385 мм. Внешний вид изготовленных экспериментальных образцов представлен на рисунке 4.9.

Для подтверждения эффективности предложенных решёток в части снижения углов перекрещивания прядей разной длины, были проведены предварительные наблюдения с использованием скоростной фотосъёмки. Для обеспечения однообразия условий эксперимента в качестве протрепываемых волокон использовались фрагменты тесьмы с аналогичной линейной плотностью длиной 40 и 60 см.

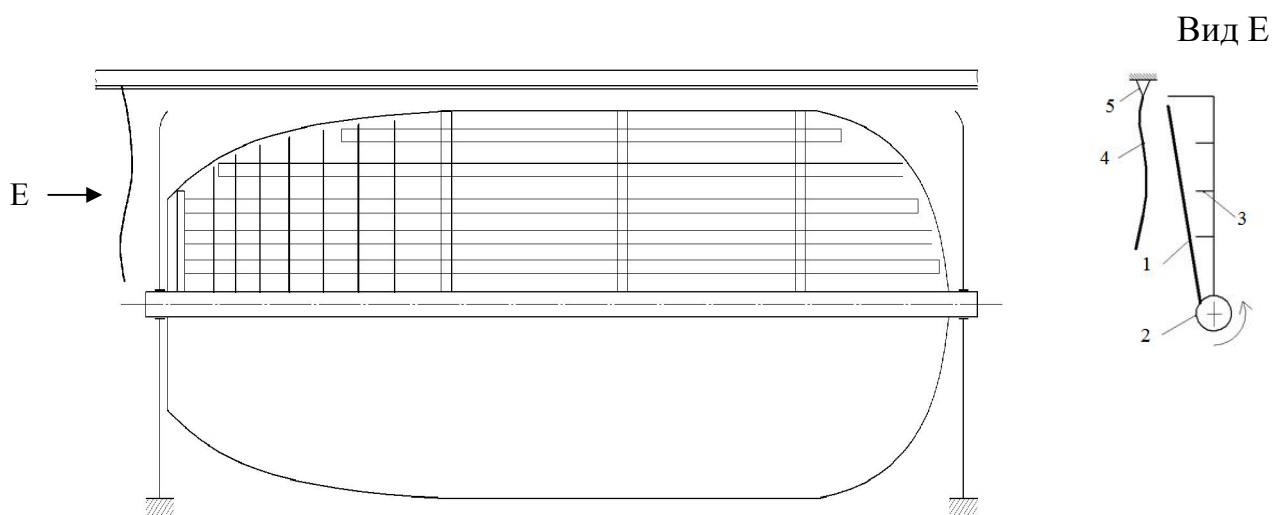


Рис. 4.8. Рабочие элементы параллелизующей решетки:
 1 – стержни решетки, 2 – вал барабана, 3 – подбивная решетка барабана,
 4 – слой сырца, 5 – зажим

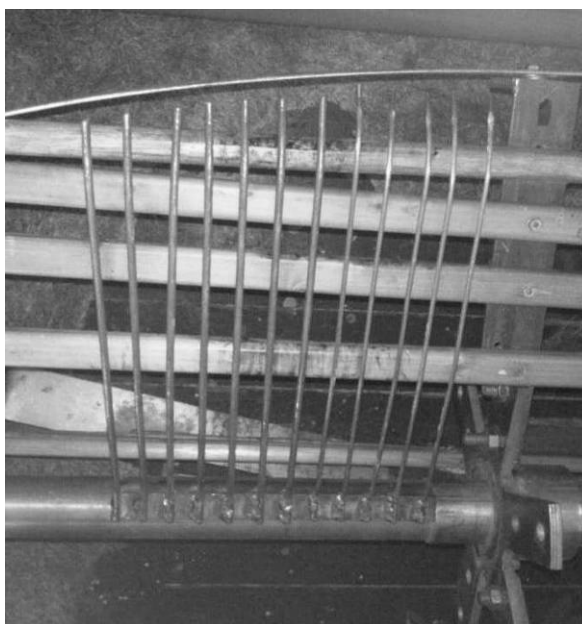


Рис. 4.9. Экспериментальная параллелизующая решетка

Обрабатываемые фрагменты зажимались в колодке трепального станка и пропускались через зону трепания с продольной скоростью 60 м/мин при частоте вращения барабанов 300 мин^{-1} . Процесс снимался на видео со скоростью 420 кадров в секунду камерой CASIO EX-FH25. Отснятый материал затем обрабатывался следующим образом: после того, как обрабатываемые пряди

попадали в интересующее нас сечение, с помощью покадрового просмотра выбирался момент, когда плоскость подбильной решетки была перпендикулярна оптической оси камеры. Камера была расположена таким образом, что к этому моменту прядь уже завершала своё падение на подбильную решетку. Это позволяло воспользоваться графическим редактором «GIMP» для определения усреднённого угла отклонения пряди от вертикали, то есть без деления угла свала на первичный и вторичный (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Значения конечных углов свала у прядей разной длины, при сравниваемых условиях обработки

Характеристика пряди	Обработка без решётки		Обработка с решёткой	
	Среднее, град	СКО, град	Среднее, град	СКО, град
Короткая	11,83	2,25	7,13	3,76
Длинная	5,58	4,33	5,12	1,16

Полученные данные [88] были обработаны посредством двухфакторного дисперсионного анализа, результаты которого представлены в таблице 4.3.

Для оценки статистической значимости влияния исследуемых факторов в таблице 4.3 представлены значения F (критерий Фишера при P=95). Из результатов следует подтверждение значимого влияния на угол свала длины прядей. Эффективность влияния на снижение угла свала предложенной решетки подтверждается только при 90% доверительной вероятности. Однако сочетание исследуемых факторов (длина и вариант конструкции) проявляется наиболее сильно и статистически значимо и доминирует в формировании изменений угла свала. Это является доказательством положительного влияния предлагаемых решеток на снижение угловой дезориентации прядей в поле трепания с применением винтовых барабанов на начальных этапах процесса (в конусной части барабанов).

Результаты дисперсионного анализа влияния длины прядей и варианта конструкции на формирование конечного угла свала

Источник вариации	SS	F - расчетный	F–табличный
Длина прядей	40,04	4,42	4,35
Вариант конструкции	26,88	2,96	4,35
Взаимодействие	102,51	11,30	4,35
Внутри	181,36		
Итого	350,79		

Условие значимости: $F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$

Из анализа полученных экспериментальных данных следует подтверждение теоретических выводов о зависимости величины углового свала от длины прядей. Более короткие пряди совершают более значительный угол поворота к моменту их расположения на подбильной решётке. Значения углов свала для прядей разной длины отличаются примерно в два раза. Однако при использовании параллелизующей решетки эта разница снижается до 1,4 раз.

Полученные результаты выявили возможные значения углов перекрещивания. Так, для условий опыта, углы перекрещивания в варианте без решетки составляют примерно 8 градусов, а при её наличии около 2 градусов.

4.3. Оценка технологической эффективности параллелизующей решетки

Для проверки технологической эффективности предложенного решения для снижения углов перекрещивания прядей в процессе трепания путем применения параллелизующих решёток на базе кафедры ТПЛВ КГТУ была проведена опытная переработка льняной тресты, пробы которой состояли из стеблей разной длины [82, 83]. Было подготовлено две партии стеблей тресты № 0,75. Треста характеризовалась, как недолежалая. Каждая партия включала по 60 горстей тресты массой 40 г, составленных в равных долях по массе из стеблей двух классов длины – 50 и 70 см. Сырье было пропущено через мьяльную машину, а

затем обработано на модернизированном экспериментальном трепальном станке [78] при фиксированной частоте вращения трепальных барабанов, составляющей 370 мин^{-1} . Особенностью проведенного эксперимента являлось использование на модернизированном станке входной воронки, которая была специально изготовлена и впервые использована при проведении опытов с трепанием (рис. 4.10).

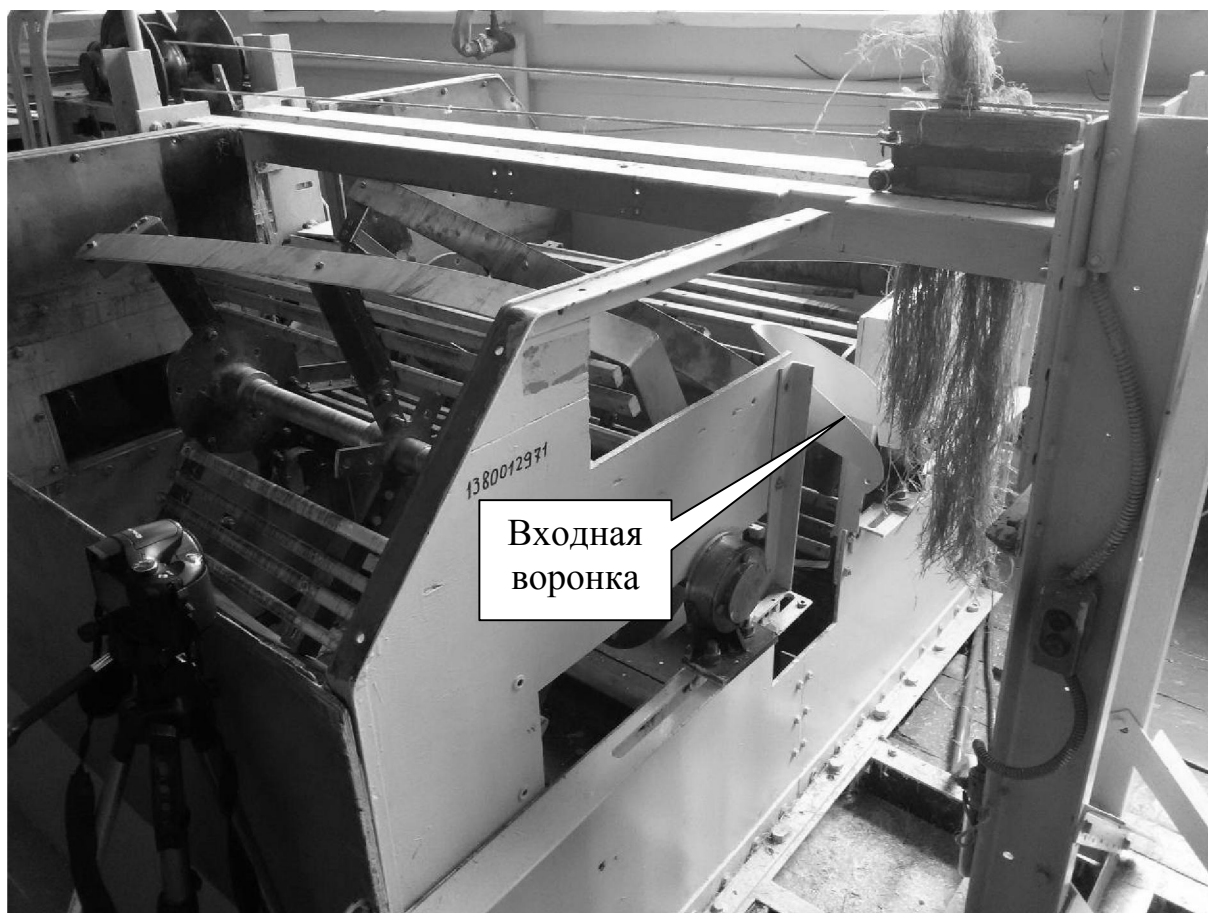


Рис. 4.10. Трепальный станок с закрепленной перед входом в зону трепания входной воронкой

.Первую партию сырца обрабатывали при отсутствии параллелизующей решетки, а вторую – при её наличии.

Выходными параметрами эксперимента являлись выход длинного волокна и массовая доля костры. Их определение проводили по общепринятым методикам [89]. Также для волокна, обработанного с использованием типовой схемы, была получена оценка разрывной нагрузки, составившая 68,6 Н.

После выбраковки «выскакивающих» значений по критерию Смирнова-Граббса были получены средние значения по выходу длинного волокна и массовой доле костры. Расчет указанных показателей проводили по общепринятым методикам, согласно ГОСТ 24383-89 и ГОСТ 10330-76.

Для оценки статистической значимости различий средних значений в сравниваемых вариантах был использован известный метод, основанный на расчете критерия Стьюдента (t-критерия Стьюдента):

$$t_{расч} = \frac{|M_x - M_y|}{\sqrt{n_x \cdot D_x + n_y \cdot D_y}} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y}{n_x + n_y} \cdot (n_x + n_y - 2)},$$

где n_x, n_y – объемы сравниваемых выборок; M_x, M_y – их средние значения; D_x, D_y – их дисперсии.

Расчетное значение сравнивали с табличным, значение которого оказалось равным 1,984 (для $\alpha = 0,05$). Итоги определения расчетного t-критерия представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Результаты расчета t-критерия для оценки значимости различий средних

Параметры	Выход длинного волокна, %	Массовая доля костры, %
Табличное значение t-критерия	1,984	1,984
Среднее значение для типового варианта	12,0	11,1
Среднее значение для предлагаемого варианта	13,0	9,8
Дисперсия для типового варианта	5,2	15,8
Дисперсия для предлагаемого варианта	8,6	16,6
Расчетное значение t-критерия	2,022	1,724

Из результатов статистической обработки экспериментальных данных следует вывод. Предложенная модернизация трепальных барабанов в виде использования параллелизующей решетки оказывает статистически значимое положительное влияние на выход длинного волокна. При использовании решетки выход возрастает примерно на 1% (абс.). При этом не установлено статистически значимое влияние от использования решётки на изменение массовой доли костры в волокне.

Также было отмечено, что воздействие параллелизующей решетки оказывает слабый эффект прочесывания волокна, что облегчает его дальнейшую переработку.

При проведении экспериментов было выявлено нежелательное явление, связанное с наматыванием концевого участка пряжи на цилиндрический стержень с постоянным диаметром по длине. Для исключения этого была предложена конструкция стержня в виде пластины с уменьшающимся к концу консоли сечением (рис. 4.11). Полагали, что такой вариант должен исключать явления сцепления пряжи при её сходе со стержней решётки.

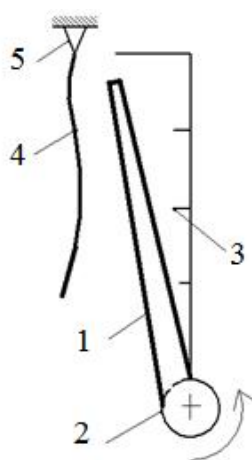


Рис. 4.11. Конструкция параллелизующей решетки с использованием элементов в виде пластин с уменьшающейся шириной (поперечное сечение) 1 – стержни решетки, 2 – вал барабана, 3 – подбильная решетка барабана, 4 – слой сырца, 5 – зажим

Используя предложенную схему, был спроектирован и изготовлен съемный узел для существующих трепальных барабанов (рис. 4.13). Его установка предусмотрена на каждое било трепального барабана в его начальной зоне длины (конусная часть). Конструкция узла предусматривает использование носителя, закрепленного на оси барабана. На носителе размещены консольно установленные пластины с уменьшающейся шириной по длине.



Рис. 4.13. Параллелизующий узел, установленный на барабане МТА-2Л.

Предложенная конструкция созданного узла была рекомендована для использования на льнозаводах путем его установки на существующих трепальных машинах, а также для Ивановского механического завода им. Г.К. Королёва.

Применительно к заводу им Г.К. Королева, новое техническое решение было рассмотрено на НТС этого завода и рекомендовано к использованию (см. приложение 1).

Также использование предложенной конструкции было признано целесообразным Шолоховским льнозаводом (см. приложение 2).

4.4. Анализ экономической эффективности использования узла распрямления льняного сырца в процессе трепания

Был рассчитан экономический эффект от внедрения дополнительного узла распрямления льняного сырца в процессе трепания, что обусловлено увеличением выхода длинного волокна.

Расчеты производили для льнозавода, на котором установлены два агрегата МТА-1Л. Принят двухсменный режим работы ($K_{см} = 2$), продолжительность смены $T_{см} = 8$ часов, продолжительность капитального ремонта $n_{к.р} = 21$ день, внутрисменные простои оборудования приняты в размере $n_{см} = 5\%$ от годового фонда рабочего времени. Основные показатели работы льнозавода приведены в таблице 4.5.

Расчёт годовой производственной программы провели для типового (до модернизации) и предлагаемого вариантов при уровне цен 2015 года.

Принято, что льнозавод перерабатывает льнотресту номера 0,75.

С учетом полученных данных установлено, что величина условно-годовой экономии при использовании узла распрямления трепальной машины на двухагрегатном льнозаводе составит:

$$\mathcal{E}_{\text{УГ}} = 895261,5 - 7075,8 = 888185,7 \text{ руб.}$$

Величина годовой прибыли с учетом всех издержек составит 893,14 тыс. рублей.

Таблица 4.5

Показатели	Годовые показатели работы льнозавода	
	Типовая конструкция трепальной машины	Предлагаемая конструкция трепальной машины
№ тресты	0,75	0,75
Масса длинного волокна $m_{дв}$, т	396,73	428,54
Номер длинного волокна $N_{дв}$	9,75	9,75
Выход длинного волокна $B_{дв}$, %	10,1	10,91
Масса короткого волокна $m_{кв}$, т	549,92	518,1
Номер короткого волокна $N_{кв}$	3,1	3,1
Выход короткого волокна $B_{кв}$, %	14,0	13,19

В итоге экономического расчета сделан вывод, что за счет внедрения узла параллелизации трепальной машины, возможно увеличить прибыли льнозавода, которая в расчете на 1 тонну перерабатываемой тресты составит 0,23 тыс. рублей.

Таким образом, узел параллелизации экономически выгоден для льнозавода и может быть рекомендован для внедрения на производство.

Заключение по главе 4

С использованием скоростной фотофиксации доказано существование углов свала и перекрещивание прядей разной длины. Указано, что средние модальные значения углов перекрещивания согласуются с расчетными. Выявлено распределение этих углов в определённых интервалах. Указана причина этого явления – наличие воздушных потоков вдоль длины барабанов, исходящих от их торцов, величина и направления которых имеют случайную природу, что затрудняет их учет при моделировании.

Возникающие перекрещивания прядей разной длины являются причиной возрастания и перераспределения сил их натяжения. Отношения натяжений может достигать 4-5 раз. Поэтому необходима разработка решений для снижения пиковых нагрузок на пряди при трепании или исключение условий для образования перекрещивания прядей разной длины.

Предложено два варианта решений для улучшения процесса трепания разнодлинных прядей с использованием исследуемых барабанов. По первому из них следует амортизировать обрабатываемые пряди при вводе в зону трепания путем их перемещения по основанию (входной горке) с установленными на нём упругими элементами или принудительно параллелизовать свободные участки прядей в процессе их падения на подбильную решетку. Доказано, что при использовании эффекта амортизации обеспечивается снижение пиковых натяжений прядей, степень которого зависит от их длины прядей и связанной с ними упругости элементов. Однако, это требует систем контроля длины сырья и

управления степенью упругости амортизирующего основания, что значительно усложняет конструкцию.

Второй вариант основан на принудительной параллелизации свободных участков прядей. Поэтому предложены расположенные у каждого била параллелизующие решетки в виде консольно закреплённых элементов (прутья либо пластины с уменьшающейся от оси вала барабана шириной). Посредством скоростной фотофиксации доказано влияние такой конструкции на уменьшение угла свала прядей, особенно при повышенной частоте вращения барабанов.

По результатам экспериментального изучения технологической эффективности процесса трепания с использованием предложенного решения для принудительной параллелизации участков прядей установлена возможность увеличения выхода длинного волокна до 1%, без значимого изменения массовой доли костры в волокне.

В итоге по результатам проведенных исследований и экспериментальных проверок для практического использования предложены новые рабочие органы в виде съёмных параллелизующих решеток, устанавливаемых перед каждым билом в конусной части барабана. Разработка принята к использованию ОАО «Ивановский механический завод им. Г.К. Королева».

Ожидаемый годовой экономический эффект от использования нового решения по модернизации конструкции трепальной машины за счет увеличения выхода длинного волокна применительно к работе двухагрегатного льнозавода, перерабатывающего тресту средним номером 0,75 может достигать 0,23 тыс. рублей на одну тонну тресты.

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. По результатам анализа исследовательских работ, связанных с трепанием льна, констатировано, что данный процесс применительно к использованию барабанов с винтовым расположением бил и наличием конусной части изучен недостаточно. Требуется дополнительное исследование особенностей поведения прядей в активной зоне обработки, а именно в конусной части барабанов с учетом неоднородности льняной тресты по длине стеблей.

2. Получены математические модели поведения пряжи в активной зоне обработки по зонам её длины: зона 1 – до начальной точки соприкосновения с бильной планкой; зона 2 – между точками контакта с бильными планками; зона 3 – концевой свободный участок. Особенностью моделей является учёт частоты вращения барабанов, особенностей расположения бил (угол подъема винтовой линии и угол конуса), скорости перемещения слоя, линейной плотности прядей и их длины.

3. Исследование применительно к зоне 1 выявило возможность существования углового смещения прядей, вызывающего их сгуживание (угол сгуживания ψ_1). В конусной части барабана угол сгуживания меняется в зависимости от угла подъема винтовой линии била γ и угла конуса барабана α . При наихудших сочетаниях этих параметров угол сгуживания прядей может достигать 30 градусов и увеличивать их линейную плотность более чем на 13%, что снижает эффективность процесса обработки льна. Установлено, что существование зоны 2 определяется длиной пряжи и в этой зоне также формируется её угловое смещение (угол наклона ψ_2).

4. Моделирование поведения участков пряжи в зонах 1 и 2 выявило изменчивость углов сгруживания и наклона прядей по мере перемещения бил. Характер изменения определяется расположением пряжи в поле трепания относительно его начала, длиной прядей и сочетанием γ и α . Изменение углов ψ_1 и ψ_2 означает существование вращательного движения соответствующих участков пряжи, сохраняющегося после момента схода конца пряжи с рабочей кромки била.

5. В результате исследования поведения концевой свободной части участка пряжи в зоне 3 разработана математическая модель его движения. Её анализ позволил предсказать ранее не известное явление углового смещения этого участка (угол свала пряди ψ_3) в плоскости, параллельной осям вращения барабанов. Экспериментально, применяя новую методику фиксации формы участков пряжи на подбильной решётке и модернизированный трепальный станок, была доказана необходимость уточнения модели путем учёта влияния воздушной среды и особенностей падения свободной части пряди на подбильную решётку.

6. Величина угла свала ψ_3 зависит не только от геометрических и режимных параметров процесса трепания, но и от длины прядей, достигая 30-40 градусов. В конусной части барабанов направление свала может меняться. Отношение углов свала коротких и длинных прядей может достигать 3-4 раз, что вызывает их перекрещивание, не допустимое перераспределение между ними натяжений и, как следствие, ухудшение результатов процесса трепания льна.

7. Значения максимальных углов свала для прядей разной длины могут быть минимизированы за счёт определённого сочетания γ и α . Однако в условиях случайного исходного изменения длины прядей выбор рациональных условий обработки, при которой снижается вероятность их перекрещивания, за счёт изменения γ и α нецелесообразен.

8. Предложено два варианта предотвращения негативных последствий от перекрещивания прядей: амортизировать обрабатываемые пряди при вводе в зону трепания путем их перемещения по упругому основанию или принудительно параллелизовать свободные участки прядей в процессе их перемещения на

подбильную решетку. Наличие упругого основания обеспечивает снижение пиковых натяжений прядей, степень которого зависит от их длины. Поэтому для эффективного снижения натяжений потребуется система контроля длины исходного льна и управления степенью упругости амортизирующего основания. Это значительно усложняет конструкцию трепальной машины и является причиной отказа от этого варианта.

9. Для принудительной параллелизации свободных участков прядей предложены параллелизующие решетки (у каждого била) в виде консольно закреплённых элементов (прутья либо пластины с уменьшающейся от оси вала барабана шириной). Экспериментально посредством скоростной фотосъёмки доказано положительное влияние такой конструкции на уменьшение углов свала и перекрещивание прядей разной длины, особенно при повышенной частоте вращения барабанов.

10. По результатам экспериментального изучения технологической эффективности процесса трепания с использованием решеток для параллелизации свободных участков прядей установлено статистически значимое увеличение выхода длинного волокна на 1% (абс.) без изменения в нём массовой доли костры.

РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Для совершенствования конструкции трепальных барабанов с винтовым расположением бил и наличием конусной части предложены новые рабочие органы в виде съёмных параллелизующих решеток, устанавливаемых перед каждым биллом в конусной части барабана. Их конструкция рекомендована к использованию ОАО «Ивановский механический завод им. Г.К. Королева», а также для применения ООО «Премиум» (Шолоховский льнозавод). Ожидаемый годовой экономический эффект от использования новых рабочих органов, как элементов модернизации конструкции трепальной машины, за счет увеличения выхода длинного волокна применительно к работе двухагрегатного льнозавода может достигать 0,23 тыс. рублей на одну тонну тресты средним номером 0,75.

Для оптимизации параметров конструкции предложенных рабочих органов требуется дальнейшее развитие теоретических положений, объясняющих особенности взаимодействия обрабатываемого материала с билами барабана. Для этого предусматривается разработка моделей, в которых учитывается возможность деформации на изгиб обрабатываемого материала, влияние воздушных потоков в активной зоне обработки, взаимодействие составляющих слой прядей друг с другом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 3000 СССР, МПК D 01 B 1/30. Приспособление к трепальному колесу или барабану для трепания льна или пеньки / Н.И. Зубовский – №4203; заявл. 07.09.1925; опубл. 31.05.1927. – 3 с. : ил.
2. Бойко, С.В. Теоретические основы повышения эффективности процесса трепания недоработанного льняного волокна: монография [Текст] / С.В. Бойко, Е.Л. Пашин – Кострома : КГТУ, 2008. – 213 с.
3. Сивцов, А.Н. Первичная обработка лубяных волокон [Текст] / А.Н. Сивцов. – М. : Гизлегпром, 1949. – 434 с.
4. А. с. 44377 СССР, МКИ D 01 B 1/14. Прибор для определения внутренних напряжений волокна при трепании / И.Т. Тихонов – №159038; заявл. 15.12.1934; опубл. 30.09.1935. – 4 с. : ил.
5. Енин, М.С. Совершенствование процесса и технических средств подготовки и обработки льняного сырца [Текст] / М.С. Енин, Е.Л. Пашин, А.В. Орлов – Кострома : Изд-во Костромского государственного технологического университета, 2014. – 195 с.
6. Справочник по заводской первичной обработке льна. [Текст] / Под общ. ред. В.Н. Храмцова. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984 г.
7. Смирнов, Б.И. Проектирование машин первичной обработки лубяных волокон [Текст] / Б.И. Смирнов, Г.К. Кузнецов – М. : Машиностроение, 1967 г.
8. Пат. 2317354 Российская Федерация, МПК D 01 B 1/14, D 01 G 21/00. Агрегат мяльно-трепальный для обработки льна / А.А. Юдин, П.Н. Борисов; патентообладатель Открытое Акционерное Общество "Завод им. Г.К. Королева" – № 2005136623/12; заявл. 24.11.2005; опубл. 20.02.2008, Бюл. №5. – 7 с. : ил.
9. Пат. 2085626 Российская Федерация, МПК D 01 B 1/10. Трепальная машина для обработки льна / В.В. Волков, А.С. Пузанов, Ф.А. Зубов, А.Н. Марченков,

В.В. Мухин; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт льна – № 93031372/12; заявл. 28.05.1993; опубл. 27.07.1997. – 4 с. : ил.

10. А. с. 1509426 СССР, МКИ D 01 В 1/14, 1/26. Способ трепания лубоволокнистого материала и секция трепальной машины / А.А. Грекулов, Р.Г. Ибрагимов – № 4266953/30-12; заявл. 22.06.1987; опубл. 23.09.1989, Бюл. №35. – 4 с. : ил.

11. Пат. 2099447 Российской Федерации, МПК D 01 В 1/10. Способ получения длинного лубяного волокна и устройство для его осуществления / Б.И. Смирнов, Э.В. Новиков, А.М. Ипатов, А.Б. Смирнов; заявитель и патентообладатель Костромской государственной технологической университет – № 95109743/12; заявл. 13.06.1995; опубл. 20.12.1997. – 3 с. : ил.

12. Живетин, В.В. Лен и его комплексное использование [Текст] / В.В. Живетин, Л.Н. Гинзбург, О.М. Ольшанская. – М., Информ-знание, 2002. – 400 с.

13. Flax in Flanders throughout the centuries / Composed, printed and bound by Drukkerij-Uitgeverij Lannoo bvba. – Tiel, Belgium, 1987. – 216 p.

14. Ипатов, А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур: учеб. пособие для ВУЗов [Текст] / А.М. Ипатов. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 144 с.

15. А. с. 1414885 СССР, МКИ D 01 В 1/16. Секция трепальной машины / Н.К. Сорокин, В.А. Дьячков – № 4120811/31-12; заявл. 02.06.1986; опубл. 07.08.1988, Бюл. №29. – 2 с. : ил.

16. Пат. 2151222 Российской Федерации, МПК D 01 В 1/16, 1/26. Барабан трепальной машины для обработки лубяных волокон / А.Б. Лапшин, Е.Л. Пашин, С.М. Вихарев; заявитель и патентообладатель Костромской государственной технологической университет – № 99124835/12; заявл. 26.11.1999; опубл. 20.06.2000. – 4 с. : ил.

17. А. с. 307123 СССР, МКИ D 01 В 1/22. Барабан к трепальной машине / А.Н. Лукинов – №1291714/28-12; заявл. 23.11.1968; опубл. 21.06.1971, Бюл. №20. – 2 с. : ил.
18. Лунёв, И.Я. Прочёс сырца в швингтурбинах ЛТ-2 [Текст] / И.Я. Лунев – Текстильная промышленность. – 1944. – №4. – С. 12-14.
19. А.с. 1222718 СССР, МКИ D 01 В 1/33. Трепальный барабан / Б.И. Лупин, Ю.А. Румянцев, В.В. Шухов. – №3797470/2812; заявл. 02.10.1984; опубл. 07.04.1986, Бюл. № 13. – 2 с. : ил.
20. Дьячков, В.А. Проектирование машин для первичной обработки лубяных волокон : учеб. пособие / В.А. Дьячков.– 2-е изд., перераб. и доп. – Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2006. – 208 с.
21. Пат. 2186163 Российской Федерации, МПК D 01 В 1/14. Способ получения длинного лубяного волокна / Е.Л. Пашин, С.М. Вихарев, А.Б. Лапшин, И.И. Круглый; заявитель и патентообладатель Костромской государственной технологической университет – № 2001117983/12; заявл. 27.06.2001; опубл. 27.07.2002. – 3 с. : ил.
22. Разуваев, А.А. О трепании лубяных волокон [Текст] / А.А. Разуваев // Известия текстильной промышленности и торговли. – 1929. – №10.
23. Доброгурский, С.О. Расчет и конструирование текстильных машин [Текст] / С.О. Доброгурский – Л.:ОНТИ, 1935. – 316 с.
24. Крагельский, И.В. Физические свойства лубяного сырья : Изд. 2-е, доп. и перераб. [Текст] / И. В. Крагельский ; под ред. и при участии В.П. Добычина. – М., Л. : изд-во Лёгкой промышленности, 1939.
25. Кузьминский, А.Б. Теоретические основы процесса трепания [Текст] / А.Б. Кузьминский. – М.-Л. : Гизлегпром, 1940. – 218 с.
26. Суслов, Н.Н. Исследование процесса трепания льна: дис. ... докт. техн. наук / Суслов Н.Н. – Кострома, 1961.
27. Суслов, Н.Н. Измерение сил давления бильной планки на прядь волокна в трепальных машинах / Н.Н. Суслов // Текстильная промышленность. – 1957. – № 12. – С. 17–23

28. Суслов, Н.Н. К вопросу о связи между процентом выхода волокна с машины, числом воздействий и скоростью движения бильной планки при трепании льна / Н.Н. Суслов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1963. – № 1. – С. 39–48.
29. Суслов, Н.Н. Экспериментальное исследование сил натяжения льняного волокна при трепании в машинах двустороннего действия / Н.Н. Суслов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1958. – № 4. – С. 4–16.
30. Суслов, Н.Н. О влиянии мощности, потребляемой барабанами / Н.Н. Суслов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1958. – № 3. – С. 75–82.
31. Суслов, Н.Н. К вопросу мощности, расходуемой на технологический процесс при трепании льна / Н.Н. Суслов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1962. – № 6. – С. 136–139.
32. Суслов, Н.Н. О соответствии необходимой мощности технологическому эффекту при обработке лубяных волокон в трепальных машинах / Н.Н. Суслов [и др.]. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987. – № 1. – С. 16–18.
33. Коновалов, В.В. Разработка и исследование конструкции трепальных барабанов агрегата МТА-2Л : дис. ... канд. техн. наук. / Коновалов В.В. – Кострома, 1988.
34. Неронов, Н.А. Некоторые вопросы механики в процессе трепания лубяных волокон при одностороннем воздействии / Н.А. Неронов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1958. – № 1. – С. 56–62.
35. Неронов, Н.А. Силы инерции в процессе обескостривания лубяных волокон при одностороннем воздействии / Н.А. Неронов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1958. – № 4. – С. 14–19.
36. Неронов, Н.А. К вопросу о трепании лубяных волокон при одностороннем воздействии / Н.А. Неронов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1960. – № 5. – С. 44–46.

37. Неронов, Н.А. Некоторые вопросы динамики в процессе трепания лубяных волокон / Н.А. Неронов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1963. – № 5. – С. 50–52.
38. Панов, Д.Н. О некоторых вопросах теории процесса трепания лубяных волокон / Д.Н. Панов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1963. – № 4. – С. 42–50.
39. Трифонов, В.Г. Количественная и качественная характеристика отходов трепания / В.Г. Трифонов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1959. – №5.
40. Левитский, И.Н. Новое в обескостривании лубоволокнистых материалов : в 2 т. / И.Н. Левитский. – Кострома : Управление по делам печати и массовой информации Администрации Костромской области, 1994. – 374 с.
41. Савиновский, В.И. К вопросу о силах, действующих на бильный барабан трепальной машины / В.И. Савиновский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1969. – № 3.
42. Савиновский, В.И. К вопросу об определении коэффициентов сопротивления слоя лубяного волокна в трепальных машинах / В.И. Савиновский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1970. – № 6. – С. 35–38.
43. Савиновский, В.И. О натяжении лубоволокнистого материала при трепании / В.И. Савиновский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1971. – № 1. – С. 29–32.
44. Савиновский, В.И. Некоторые вопросы кинематики при двустороннем трепании / В.И. Савиновский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1973. – № 1. – С. 141–145.
45. Савиновский, В.И. Натяжение лубяного волокна на подбильной решетке / В.И. Савиновский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1973. – № 3. – С. 35–37.
46. Савиновский, В.И. Формула для определения натяжения в некоторых технологических процессах первичной обработки лубяных волокон /

В.И. Савиновский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1973. – № 6. – С. 128–131.

47. Кузнецов, Г.К. Станок для экспериментального исследования процесса трепания лубяных волокон / Г.К. Кузнецов, В.И. Савиновский, Д.А. Янушевский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1980. – № 2. – С. 105–106.

48. Кузнецов, Г.К. Изменение массы слоя волокна в зоне трепания / Г.К. Кузнецов, В.И. Савиновский, Т.К. Лихачева // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1984. – № 5. – С. 12–14.

49. Кузнецов, Г.К. Аэродинамическая сила, действующая на слой волокна в процессе трепания / Г.К. Кузнецов, В.И. Савиновский, Н.Н. Суслов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986. – № 2. – С. 27–26.

50. Ипатов, А.М. Элементы анализа отдельных механических воздействий при выделении луба из стеблей льна: дис. ... канд. техн. наук / А.М. Ипатов. – Кострома, 1966.

51. Новиков, Э.В. Совершенствование теории и технологии процесса очистки длинного льняного волокна: монография / Э.В. Новиков, Р.В. Корабельников. – Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2006. – 129 с.

52. Янушевский, Д.А. Исследование и обоснование некоторых конструктивных параметров узла бильных барабанов льнотрепальных машин: дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Янушевский – Кострома, 1981.

53. Дьячков, В.А. Теоретическое обоснование технологических и конструктивных параметров машин для производства длинных волокон льна : дис. ... докт. техн. наук / В.А. Дьячков – Кострома, 2003.

54. Разин, С.Н. Теоретические основы совершенствования механической модификации льна : монография / С.Н. Разин, Е.Л. Пашин. – Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2005. – 156 с.

55. Лапшин, А.Б. Развитие теории процесса трепания льна: монография / А.Б. Лапшин, Е.Л. Пашин.– Кострома: КГТУ, 2004. –204 с.

56. Гришин, А.Г. Преобразования двумерного дискретного представления нити к редуцированным уравнениям континуального представления / А.Г. Гришин, А.Б. Лапшин, Е.Л. Пашин // Ж. “Машиностроение” Изв. Вузов – 2003. – № 8. – С. 3–10.
57. Волков, Д.А. Интенсификация процесса обескостривания льна трепанием. Моделирование и обоснование режимно-конструктивных параметров: монография / Д.А. Волков, С.В. Бойко, Е.Л. Пашин // Saarbrücken, Deutschland – LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 134 с.
58. Бойко, С.В. Теоретические и технические основы повышения эффективности процесса трепания недоработанного льняного волокна : дис. ... докт. техн. наук / Бойко Светлана Вадимовна. – М, 2008.
59. Гришин, А.Г. Преобразования двумерного дискретного представления нити к редуцированным уравнениям континуального представления / А.Г. Гришин, А.Б. Лапшин, Е.Л. Пашин // Ж. “Машиностроение” Изв. Вузов – 2003. – № 8. – С. 3-10.
60. Пашин, Е.Л. Механическая подготовка льна для получения трепаного волокна (проблемы и направления совершенствования) : монография / Е.Л. Пашин, А.Б. Лапшин, С.Е. Маянский. – Кострома, ВНИИЛК, 2006. – 212 с.
61. Лапшин, А.Б. Особенности взаимодействия конусных частей барабанов с прядями сырца в поле трепания / А.Б. Лапшин, Е.Л. Пашин, С.М. Вихарев // Вестник ВНИИЛК – 2003. – №1 – С. 24-28.
62. Савиновский, В.И. Кинематика слоя волокна в процессе трепания наклонными и винтовыми бильными планками / В.И. Савиновский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985. – № 4. – с. 14–17.
63. Бойко, С.В. Выявление особенностей трепания льна трехбильными барабанами / С.В. Бойко, Е.Л. Пашин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – №4. – С. 109-110.
64. Волков, Д.А. Обоснование параметров процесса и машины для интенсификации обескостривания сырца при трепании льна : автореф. дис. ...

канд. техн. наук : 05.19.02, 05.02.13 / Волков Дмитрий Алексеевич. – Кострома, 2014. – 18 с.

65. Волков, Д.А. Обоснование параметров процесса и машины для интенсификации обескостривания сырца при трепании льна [Электронный ресурс] : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02, 05.02.13 / Волков Дмитрий Алексеевич. – Кострома, 2015. – Режим доступа http://ds.kstu.edu.ru/docs/Volkov_diss.pdf. – 133 с.

66. Веселов, В.И. О способах дифференциации процесса трепания конопляного волокна / В.И. Веселов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1960. – № 3.

67. Енин, М.С. Разработка и обоснование параметров процесса и машины для предварительной обработки льняного сырца : дис. ... канд. техн. наук / Енин Михаил Сергеевич – Кострома, 2010.

68. Орлов, А.В. Оценка степени сгруживания прядей в слое льняного сырца при трепании / А.В. Орлов, С.В. Бойко, Е.Л. Пашин, М.С. Енин. // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2012. – №6(342). – с. 44 – 49.

69. Орлов, А.В. Регрессионный анализ модели сгруживания прядей сырца при трепании / А.В. Орлов // Междунар. науч.-техн. конф. «Текстиль». – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина». – 2012. – с. 26.

70. Орлов, А.В. Особенности формирования угла сгруживания пряди сырца при трепании льна / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин, С.В. Бойко // Междунар. науч.-техн. конф. «Лен». – Кострома, КГТУ. – 2012. – с. 25

71. Орлов, А.В. Оценка угла наклона льняных прядей к кромкам бил в поле трепания / А.В. Орлов, С.В. Бойко, Е.Л. Пашин, М.С. Енин // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – №1(349) – с. 37 – 42.

72. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле. / С.П. Тимошенко. – М. : Наука, 1967. – 444 с.

73. Орлов, А.В. Анализ углового смещения свободных участков прядей льна при их перемещении в поле трепания / А.В. Орлов, С.В. Бойко, Е.Л. Пашин //

Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – №2(350). – с. 32 – 37.

74. Орлов, А.В. Причины спутывания свободных участков пряжей льняного сырца при трепании / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин // Междунар. науч.-техн. конф. «Прогресс». – Иваново, ИВГПУ. – 2013. – с. 57

75. Орлов, А.В. Исследование условий формирования угла свала пряжей льняного сырца при трепании / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин // Кострома, Вестник КГТУ. – 2013. – №2(31). – с. 10 – 12.

76. Орлов, А.В. Исследование свала пряжи сырца при трепании в зависимости от её длины и параметров этого процесса / А.В. Орлов // Кострома, Вестник КГТУ. – 2014. – №1(32). – с. 16 – 18.

77. Орлов, А.В. Влияние длины пряжей сырца и параметров конструкции барабанов на формирование угла свала в поле трепания / А.В. Орлов, С.В. Бойко // Междунар. науч.-техн. конф. «Лен». – Кострома, КГТУ. – 2014. – с. 16.

78. Орлов, А.В. Совершенствование конструкции станка для экспериментального исследования процесса трепания / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин, М.С. Енин // Сборник «Научные труды молодых ученых КГТУ». – Кострома, КГТУ. – 2015. – с. 3.

79. Орлов, А.В. Оценка влияния воздушных потоков на перемещения пряжей сырца разной длины и массы в продольной плоскости зоны трепания льна / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин // Кострома, Вестник КГТУ. – 2016 – №1(36). – с. 3 – 6.

80. Орлов, А.В. Влияние переkreщивания пряжей льняного сырца в поле трепания на изменение сил их натяжения [Электронный ресурс] / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин // Кострома, Научный вестник КГТУ. – 2016 – №1 – Режим доступа <http://vestnik.kstu.edu.ru/Images/ArticleFile/2016-1-6.pdf> – 7 с.

81. Цитович, И.Г. Теоретические основы стабилизации процесса вязания. [Текст] / И.Г. Цитович – М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1984. – 136 с.

82. Орлов, А.В. Технологическая эффективность использования направляющих для параллелизации пряжей льносырца в процессе трепания /

А.В. Орлов, Е.Л. Пашин, М.С. Енин // Кострома, Вестник КГТУ. – 2015. – №1(34). – с. 7 – 9.

83. Смирнов Н.Р. Модернизация барабанов трепальной машины для получения длинного льноволокна / Н.Р. Смирнов, А.В. Орлов, Е.Л. Пашин // Межвуз. науч.-техн. конф. «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству», т. 2. – Кострома, КГТУ – 2016 – с. 5 – 6.

84. Пат. 2358047 Российская Федерация, МПК D01B 1/14, D01B 1/26. Способ трепания лубяных волокон / Е.Л. Пашин, С.В. Бойко, Д.А. Волков – № 2007126105/12; заявл. 20.01.2009; опубл. 10.06.2019; Бюл. №16. – 6 с. : ил.

85. Орлов, А.В. Исследования условий снижения интенсивности воздействий на пряжи льняного сырца на начальных этапах трепания / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин, С.В. Бойко, М.С. Енин // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – №3(351). – с. 35 – 40.

86. Пат. 151853 Российская Федерация, МПК D01B 1/14. Секция трепальной машины для обработки лубяных волокон / Е.Л. Пашин, Д.А. Волков, А.В. Орлов – № 2014135577/12; заявл. 01.09.2014; опубл. 20.04.2015; Бюл. №11. – 3 с. : ил.

87. Пат. 155864 Российская Федерация, МПК D01B 1/14. Барабан трепальной машины для обработки лубяных волокон / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин – № 2014132261/12; заявл. 05.08.2014; опубл. 20.10.2015; Бюл. №29. – 3 с. : ил.

88. Орлов, А.В. Оценка влияния параллелизирующих решеток трепальной машины на снижение угловой дезориентации льняных прядей разной длины / А.В. Орлов, Е.Л. Пашин // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – №5(359). – с. 72 – 74.

89. ГОСТ 53484 – 2009. Лен трепаный. Технические условия [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 13 с.

90. Пашин, Е.Л. Влияние предварительного обескостривания стеблей льна на содержание костры в однотипном волокне / Е.Л. Пашин, А.В. Орлов, С.В. Кузьмичев, А.Г. Носов // Межвуз. науч.-техн. конф. «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству». – Кострома, КГТУ. – 2014. – с. 94.

ПРИЛОЖЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ


 Генеральный директор
 ОАО «Завод им. Г.К. Королёва»
 А.М. Крапостин



« 29 » 11 2016 г.

А К Т

об использовании и внедрении результатов
 диссертационной работы Орлова Александра Валерьевича,
 выполненной в Костромском государственном университете и
 связанной с исследованием процесса трепания льна и
 совершенствованием рабочих органов машины для его реализации

В диссертационной работе Орлова А.В. впервые выявлены особенности поведения обрабатываемых льняных прядей в поле трепания с использованием винтовых трепальных барабанов, имеющих конусную входную часть. Установлено, что пряди сырца разной длины при перемещении с била одного барабана на било противоположного барабана отклоняются в продольной плоскости поля трепания (вдоль длины барабанов). Величина наклона у прядей разной длины отличается, при этом короткие пряди отклоняются в большей степени. В результате возникает нежелательное перекрещивание прядей. Этот негативный технологический эффект способствует формированию волокнистых отходов, что снижает результативность процесса трепания.

Для устранения выявленного недостатка предложена конструкция дополнительного рабочего органа в виде системы радиально расположенных элементов (патент РФ на полезную модель №155864), обеспечивающих

параллелизацию прядей перед их расположением на подбильных решетках трепальных барабанов (рис. 1).

Предлагается эти рабочие органы делать съёмными с возможностью установки на новые или эксплуатируемые на практике трепальные барабаны. Рекомендуется их установка в начальной части длины барабанов.

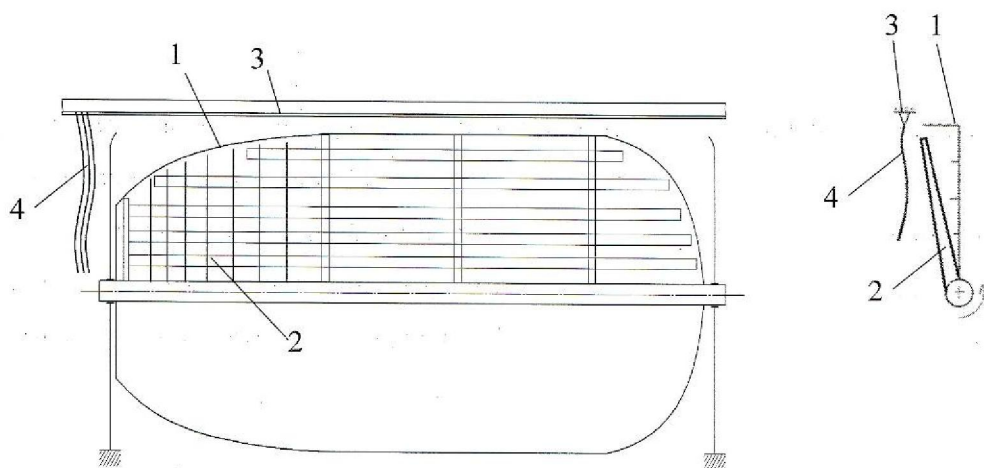


Рис. 1. Схема предлагаемого решения. 1 – бильная планка; 2 – новый рабочий орган; 3 – зажимной транспортер; 4 – обрабатываемая прядь

Экспериментальные исследования, проведенные на кафедре ТПЛВ КГТУ с использованием трепального станка с винтовыми барабанами, подтвердили эффективность предлагаемого съемного рабочего органа. Эксперименты выявили возможность статистически доказуемого увеличения выхода длинного волокна на 1% (табл. 1). При этом содержание костры в волокне в сравниваемых вариантах статистически значимо не изменяется и находится в пределах норм ГОСТ 10330-76 «Лён трепаный. ТУ».

Таблица 1. Результаты экспериментальной проверки предлагаемого рабочего органа

Параметры	Типовой вариант	Модернизированный вариант
Выход длинного волокна, %	12,0	13,0
Массовая доля костры, %	11,1	9,8

По результатам исследований и проверок была предложена конструкция узла параллелизации прядей, предназначенного для установки на барабаны существующих трепальных машин (рис. 2).



Рис. 2. Опытный образец съёмного узла, установленный на барабане трепальной машины агрегата МТА-2Л

...По заключению авторов работы, а также представителей Шолоховского льнозавода (Костромская область) внедрение в практику

полученного результата диссертационного исследования не будет требовать значительных затрат.

С учётом изложенной информации, технический совет ОАО «Завод им. Г.К. Королёва» принял следующее решение.

1. Заслушав и обсудив сообщение представителя КГУ Орлова А. В. признать, что выполненная диссертационная работа «Совершенствование процесса трепания льна барабанами с винтовым расположением бил» направлена на решение актуальной проблемы, связанной с повышением эффективности переработки льна. Её целью является увеличение выхода длинного волокна при сохранении уровня его заострённости, не превышающего требований существующего ГОСТ 10330-76 «Лён трепаный. ТУ».

2. Техническое решение по модернизации трепальной машины за счёт использования съёмных рабочих органов в виде радиально расположенных с шагом консольных пластин (см. рис. 1 и 2) представляет интерес для завода. Оно принимается для использования при создании новой техники и модернизации конструкции существующих трепальных машин.

3. Рекомендовать автору работы Орлову А.В., а также его научному руководителю оказать содействие заводу в виде консультаций и по расчёту параметров процесса и предлагаемых узлов трепальной машины в процессе их проектирования.

4. Считать перспективными и представляющими интерес для практики исследования по дальнейшему изучению и совершенствованию съёмных рабочих органов к трепальным машинам для обработки льна, которые будут обеспечивать улучшение результатов его технологической переработки.

Главный конструктор завода



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Премиум» (Шолоховский льнозавод)

Костромская область

Е.П. Яковлев

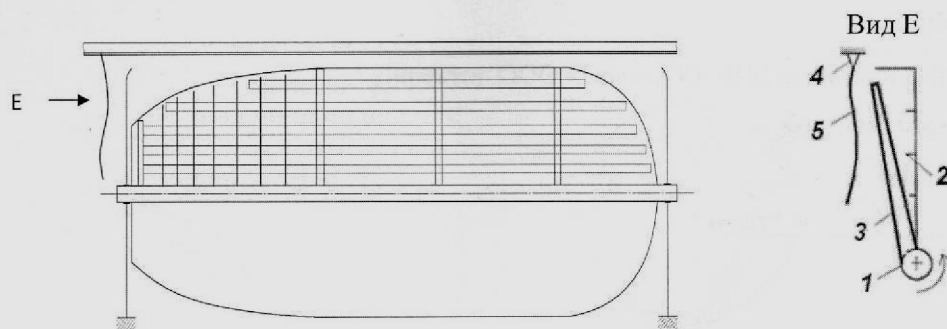
09 09 2016 г.

**АКТ**

о целесообразности использования и применения на практике созданных в КГТУ съёмных рабочих органов для входной части трепальной машины

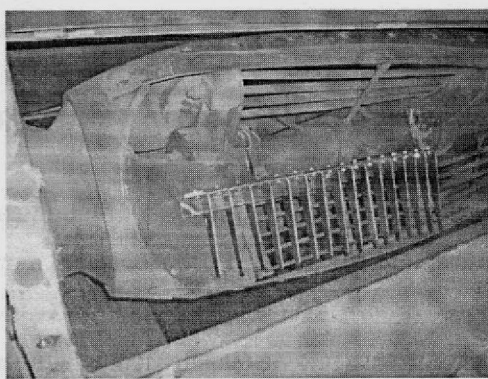
Рассмотрев результаты научно-исследовательской работы Орлова А.В. (рук. д.т.н., проф. Пашин Е.Л), направленные на повышение эффективности процесса трепания льна принято следующее заключение.

1. Существо разработки состоит в модернизации конструкции трепальной машины путем установки специальных рабочих органов, снижающих угловую дезориентацию прядей на начальных этапах процесса трепания. Указанная угловая дезориентация на практике приводит к формированию различных натяжений в прядях, вследствие чего некоторые из них подвергаются обрыву и выпадают в отходы трепания. Поэтому для практического применения для обеих секций трепальной машины автором предложен съёмный узел с пассивными рабочими органами для параллелизации прядей (см. рис.). Он закрепляется на каждом из бил барабанов в зоне их входного конуса. Конструкция узла представляет собой систему консольно закрепленных на валу 1 трепального барабана перед билами 2 параллелизующих пластин 3. В результате их взаимодействия со слоем, зафиксированных в зажимном транспортере 4 прядей 5, снижаются углы их перекрещивания. Это обеспечивает выравнивание и уменьшение пиковых сил натяжения, что способствует уменьшению доли волокнистых отходов.



А

1-вал барабана; 2-било; 3-пластина; 4-зажим; 5-прядь



Б

Рис. Съёмные рабочие органы в виде параллелизующих пластин:
А – схема; Б – внешний вид

2. Следует считать правдоподобными выводы, полученные в результате экспериментов на трепальном станке, а именно: что в условиях использования предложенных съёмных рабочих органов наблюдается увеличение длинного трепаного волокна в пределах 1%. Это положительно отразится на экономике производства и поэтому предлагаемое новшество следует считать полезным для практики.

3. Рекомендуется данную разработку представить для использования Ивановскому механическому заводу им. Г.К. Королёва с целью изготовления новых рабочих органов для трепальной машины и оснащения ими выпускаемой техники для переработки льна.