

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнёва»

На правах рукописи

Палкин Евгений Владимирович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОКОРКИ
С ЦЕПОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ**

05.21.01 – «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, профессор
В.Н. Курицын

Красноярск - 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования	10
1.1 Тонкомерные и сегментные лесоматериалы как дополнительный сырьевой ресурс.....	10
1.2 Окорка лесоматериалов	13
1.2.1 Виды окорки лесоматериалов	13
1.2.2 Краткий обзор и анализ оборудования применяемого для окорки тонкомерной древесины	20
1.3 Краткий обзор исследований в области создания окорочных установок с гибкими рабочими органами.....	29
1.4 Основные физико-механические свойства коры, влияющие на процесс окорки	41
1.5 Выводы по главе и задачи исследования.....	48
Глава 2. Теоретическое обоснование процесса окорки цеповыми рабочими органами.....	50
2.1 Основное кинематическое соотношение при цеповой окорке.....	50
2.2 Силовое взаимодействие цеповой окорки	53
2.3 Динамика цеповой окорки.....	54
2.4 Факторы, влияющие на энергозатраты (мощность) окорки	60
2.5 Энергозатраты цеповой окорки	64
2.6 Расчет мощности цеповой окорки	74
2.7 Взаимодействие конечного элемента цепи с сортиментом в поперечном сечении	77
2.8 Конструктивные схемы цепового окорочного оборудования.....	88
2.8.1 Схема станка для обработки горбыля	88
2.8.2 Схема станка для обработки тонкомерных лесоматериалов	89
2.9 Выводы по главе 2.....	91
Глава 3. Методика и аппаратура экспериментальных исследований.....	92

3.1 Цели и задачи экспериментальных исследований.....	92
3.2 Методика и экспериментальная установка проведения первой группы экспериментов	92
3.2.1 Методика проведения экспериментов	92
3.2.2 Предварительный эксперимент	95
3.2.3 Экспериментальная установка и измерительная аппаратура.....	97
3.2.4 Принятые значения факторов	103
3.2.5 Учет погрешностей измерительной аппаратуры	104
3.3 Методика и экспериментальная установка проведения второй группы экспериментов	106
3.3.1 Методика проведения экспериментов	106
3.3.2 Экспериментальная установка и измерительная аппаратура.....	107
3.3.3 Принятые значения факторов	109
3.3.4 Расчет погрешностей измерений.....	110
3.4 Выводы по главе 3.....	111
Глава 4. Результаты экспериментальных исследований.....	112
4.1 Результаты экспериментов первой группы опытов.....	112
4.2.1 Результаты экспериментов второй группы опытов	116
4.2.2 Математическая обработка результатов экспериментов второй группы опытов.....	126
4.3 Определение скорости подачи при наименьшей удельной работе цеповой окорки	138
4.4 Сравнительный расчет энергетической эффективности способов окорки.....	142
4.5 Выводы по главе 4.....	145
Основные выводы и рекомендации.....	147
Библиографический список.....	150
Приложение А	162
Приложение Б.....	166
Приложение В	168
Приложение Г	176

Приложение Д.....	178
Приложение Е.....	179
Приложение Ё.....	180

Введение

Актуальность темы исследования. Создание новых технических и технологических инноваций в сфере лесопромышленного производства является весьма актуальной задачей. Инновации, в первую очередь, должны быть направлены на оптимизацию процессов заготовки, обработки и глубокой переработки древесины в направлениях рационального использования древесного сырья, расширения ассортимента выпускаемой продукции, повышения её качества, а также повышения энергетической эффективности операций и технологических цепочек в целом. Одним из важнейших требований комплексной переработки древесины является обязательное использование окорки древесного сырья. Окорке должны подлежать все сортименты, кроме дров. Существующие окорочные станки предназначены для обработки древесных стволов, близких к правильной геометрической форме. Однако тенденции развития отрасли показывают, что доля таких стволов постепенно снижается, а доля тонкомерной древесины и горбыля в общем объеме лесопромышленного производства увеличивается. Большая часть этой древесины остается в отходах, что не способствует комплексной переработке и является препятствием развития лесной отрасли. Перспективной технологией обработки таких лесоматериалов является цеповая ударная окорка. В отечественных технологиях очистки древесины от коры отсутствует подобное оборудование. Окорка тонкомерной древесины и горбыля позволит вовлечь дополнительно в производство до 30 % объема заготавливаемой деловой древесины.

Таким образом, работы, направленные на создание технологий окорки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов, позволяют решить важные технические, технологические, экологические проблемы и являются актуальными.

Степень разработанности темы исследования. Проблемами повышения эффективности окорочных технологий в разное время занимались такие ученые как Бойков С.П., Васильев С.Б. Газизов А.М., Гаспарян Г.Д., Григорьев И.В.,

Васильев А.С., Гумерова О.М., Пятякин В.И., Побединский В.В., Пигильдин Н.Ф., Куницкая О.А., Симонов М.Н., Югов В.Г. и другие.

Выполненные исследования позволили разработать, усовершенствовать различные способы и технические средства окорки лесоматериалов различного физического состояния.

Однако, вопросы описания перспективной технологии ударной цеповой окорки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов в теоретических исследованиях не изучены и почти отсутствуют, на практике внедрение подобного оборудования отсутствует. Исследование цеповой окорки стимулирует создание инновационных многофункциональных лесозаготовительных комплексов.

Цель работы. Создание технологии окорки на основе оборудования с цеповыми рабочими органами для обработки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов.

Объект исследований. Технологии окорки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов.

Предмет исследований. Технологические, энергетические и конструктивные параметры окорки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов цеповыми рабочими органами.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать математические модели взаимодействия цепов и обрабатываемой поверхности для расчета технологических, конструктивных и энергетических параметров процесса цеповой окорки, предложить технические решения, позволяющие выполнять цеповую окорку горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов;

2. Разработать методику экспериментальных исследований и изготовить экспериментальную установку для цеповой окорки с целью исследования энергетических, технологических и конструктивных параметров;

3. На основе анализа результатов экспериментальных исследований определить рациональную скорость подачи при минимальных энергетических затратах и высоком качестве очистки лесоматериалов от коры;

4. Для обеспечения внедрения результатов исследований в практику разработать рекомендации для проектирования оборудования цеповой окорки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов, дать сравнительный анализ энергозатрат цеповой окорки с другими технологиями и выполнить оценку экономического эффекта от использования результатов в производстве.

Научной новизной обладают:

1. Математические модели, описывающие механику процесса взаимодействия цепов и окоряемой поверхности, позволяющие определять режимы окорки с минимальными энергетическими затратами и высоким качеством обработки, которые вносят вклад в развитие теории механической окорки лесоматериалов.

2. Методика геометрического моделирования области контактного взаимодействия цепов с лесоматериалом в процессе окорки.

3. Регрессионные зависимости удельных затрат цеповой окорки от режимных параметров.

4. Новые экспериментальные данные о характере зависимости удельной работы цеповой окорки от режимных параметров и породы лесоматериалов.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке математических моделей цеповой окорки лесоматериалов, представляющих основы теории расчетов цеповых окорочных технологий. Предлагаемые обоснованные конструктивные схемы окорочного оборудования с цеповыми рабочими органами и технические решения способствуют развитию отечественного лесного станкостроения. Результаты научных исследований предназначены для использования при проектировании и создании окорочного оборудования с цеповыми рабочими органами.

Практическое значение имеют:

Полученные в процессе исследований математические модели процесса цеповой окорки позволяют рассчитывать технологические, энергетические параметры режимов обработки лесоматериалов. Реализация полученных результатов в виде окорочного оборудования позволит дополнительно вовлечь в производство пиломатериалов, щепы, древесного угля и топливных гранул до 30% отходов древесины. Экспериментальная установка для цеповой окорки горбыльных лесоматериалов может использоваться в качестве прототипа для разработки технического задания серийного образца окорочного станка.

Методология и методы исследования. При проведении теоретических и экспериментальных исследований использованы основные законы механики, дифференциальное и интегральное исчисления, теория подобия и физического моделирования, методы математического анализа и статистики, методы натурального эксперимента.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математические модели, позволяющие оценивать с учетом режимных, конструктивных параметров, характеристик лесоматериалов интегральный параметр процесса - удельную работу окорки лесоматериалов, при которой будут минимизированы потери энергии без снижения качества обработки.

2. Технические решения создания оборудования, позволяющего выполнять цеповую окорку и повысить эффективность лесобрабатывающего производства за счет снижения энергоемкости процесса и повышения объемов производства.

3. Методика, исследовательская установка и результаты экспериментальных исследований по определению энергетических параметров цеповой окорки ели и пихты при различных режимах работы.

4. Результаты анализа зависимости удельной работы от технологических параметров, полученные на основе математической и экспериментальной моделей.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечивается обращением к известным экспериментальным данным, применением обоснованных современных методов исследования, непротиворечивостью с

известными подобными исследованиями, проведением экспериментальных исследований процесса цеповой окорки и подтверждением адекватности полученных моделей сходимостью экспериментальных и теоретических данных.

Апробация работы. Результаты проведенных исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на Всероссийской научно-практической конференции «Химико-лесной комплекс - проблемы и решения» (СибГТУ, 2001, 2002, 2003, 2005), на Всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы - проблемы и решения» (СибГТУ, 2004, 2010), на Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» (СибГТУ, 2008), на Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Машиностроение: новые концепции и технологии» (СибГУ, 2019), на Всероссийской научно-практической конференции «Лесозаготовка и комплексное использование древесины» (СибГУ, 2021), на семинарах кафедры технологии и оборудования лесозаготовок СибГТУ.

Публикации. По результатам диссертационных исследований автором опубликовано 13 работ, в том числе 2 статьи в изданиях рекомендованных ВАК.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации выражается в разработке методики исследования, составлении математических моделей, проведении экспериментальных исследований и обработке полученных данных, формулировании теоретических положений, практических рекомендаций и выводов.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, общих выводов и рекомендаций, библиографического списка из 111 наименований и 7 приложений. Диссертация изложена на 180 страницах и содержит 73 рисунка и 32 таблицы.

Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Тонкомерные и сегментные лесоматериалы как дополнительный сырьевой ресурс

Одним из основных резервов древесного сырья для получения технологической, топливной щепы, древесных гранул, выработки балансов, рудстойки и пиловочника может служить низкотоварная, тонкомерная, поврежденная древесина, получаемая при рубках главного пользования и при проведении рубок ухода за лесом.

Среди лесосечных отходов значительную долю (до 40%) объема составляют тонкомерные деревья диаметром на высоте 1,3 м менее 14 см. Современная высокопроизводительная техника, используемая на машинной валке, трелевке и обрезке сучьев, малоэффективна для тонкомерных стволов, которые остаются на лесосеке чаще всего не вырубленными. Однако в условиях наступающего дефицита древесного сырья проблема использования тонкомерной древесины становится актуальной. Количество тонкомерной древесины при рубках главного пользования зависит от возрастного и породного состава лесов, их происхождения и интенсивности предшествующих рубок ухода. Ресурсы тонкомерной древесины на ежегодно отводимых лесосеках не поддаются точному учету и ориентировочно составляют 4-5% общего объема лесозаготовок. На отдельных елово-лиственных лесосеках деревья диаметром менее 8 см составляют 10% запаса. О значительных реальных ресурсах тонкомерной древесины свидетельствуют и натурные обследования лесосек, пройденных рубками главного пользования. Наиболее часто встречались тонкомерные деревья диаметром 8-10 см, доля которых составляет 89%, и длиной 7-10 м. Другими значительными источниками тонкомерной древесины являются рубки ухода за лесом и подготовка лож водохранилищ объектов гидроэнергетики с произрастающей на них древесной растительностью. Тонкомерная древесина в

свежезаготовленном виде при рубках осветления позволяет получить 45-62% сырья лиственных пород для производства щепы.

Тонкомерная древесина - это круглый сортимент, имеющий толщину в верхнем отрезе без коры от 2 до 13 сантиметров включительно. Тонкомерный пиловочник с диаметром в верхнем отрезе не менее 6 см, и длиной не менее 3 метров пригоден для переработки на фрезерно-брусующих и фрезернопильных станках, на обрезные пиломатериалы, мебельные заготовки. Также из него можно получать декоративную рейку и штакетник, вагонку, оцилиндрованное бревно, некоторые изделия для быта, стеновые заготовки, рукоятки ручного инструмента и другие изделия. Кроме стволовой древесины для получения многих продуктов могут использоваться листья и зелень, удельный вес которых в общей биомассе составляет в молодняках до 40%, на рубках прореживания - до 25%. Актуальной продукцией в последнее время становится производство облагороженного древесного топлива – пеллет и брикетов, одним из резервов сырья которых может служить тонкомерная древесина. Из оцилиндрованных тонкомерных сортиментов производят различные виды готовых ограждений, палисады, малые архитектурные формы, детские площадки, деревянную брусчатку и другие изделия для сада, огорода, виноградников, ландшафтного дизайна и городского благоустройства. Таким образом, тонкомерная древесина является значительным источником дополнительного древесного сырья. Прогрессивные технологии предусматривают переработку комлевой части тонкомерных деревьев на круглые деловые сортименты, а вершинной части и мелкотоварных целых деревьев на технологическую щепу и товарную зелень.

К недостаткам тонкомерной древесины следует отнести сравнительно высокое содержание коры в молодых стволах, которое постепенно снижается с возрастом. Кора у тонкомера тонкая, гладкая, состоит преимущественно из луба. Кorkовый слой обычно отсутствует или имеется в зачаточном состоянии. Кора молодых деревьев труднее поддается отделению. В тонкомерных деревьях почти отсутствует гниль [54].

Таким образом, для получения продукции высокой добавленной стоимости из тонкомерной древесины одним из сдерживающих факторов является наличие коры, что неблагоприятно влияет на использование её в качестве сырья лесопромышленными предприятиями. Одним из главных требований целлюлозно-бумажной промышленности к высококачественной технологической щепе практически полное отсутствие элементов коры. Наличие коры снижает качественную ценность продукции, а также её стоимость. Древесные гранулы пеллеты, произведенные из предварительно окоренной древесины (т.н. белые пеллеты) дороже по продажной стоимости, чем черные пеллеты (из неокоренной древесины) на 20% [49].

В процессе лесопиления образуются кусковые сегментные отходы – горбыльные доски и рейки, которые представляют собой ценную заболонную часть ствола дерева и являются сырьем для получения технологической щепы. Средний баланс готовой продукции и отходов при раскросе пиловочных бревен может достигать до 20% сегментных отходов. На малых и средних лесопильных предприятиях, где распиливается зачастую неокоренный пиловочник, сегментные отходы могут принести дополнительный экономический эффект при их измельчении на технологическую щепу. При минимальных затратах труда можно обеспечить получение щепы, не уступающей по качеству щепе из балансов.

Образующиеся в процессе лесопиления рейки, горбыли, содержат минимальное количество сучков и других древесных пороков.

Существующие технологические процессы по переработке тонкомерной древесины на технологическую щепу и гранулы требуют качественно окоренного сырья. При окорке тонкомерной древесины можно выбрать один из вариантов её дальнейшей переработки, представленных на рисунке 1.1.

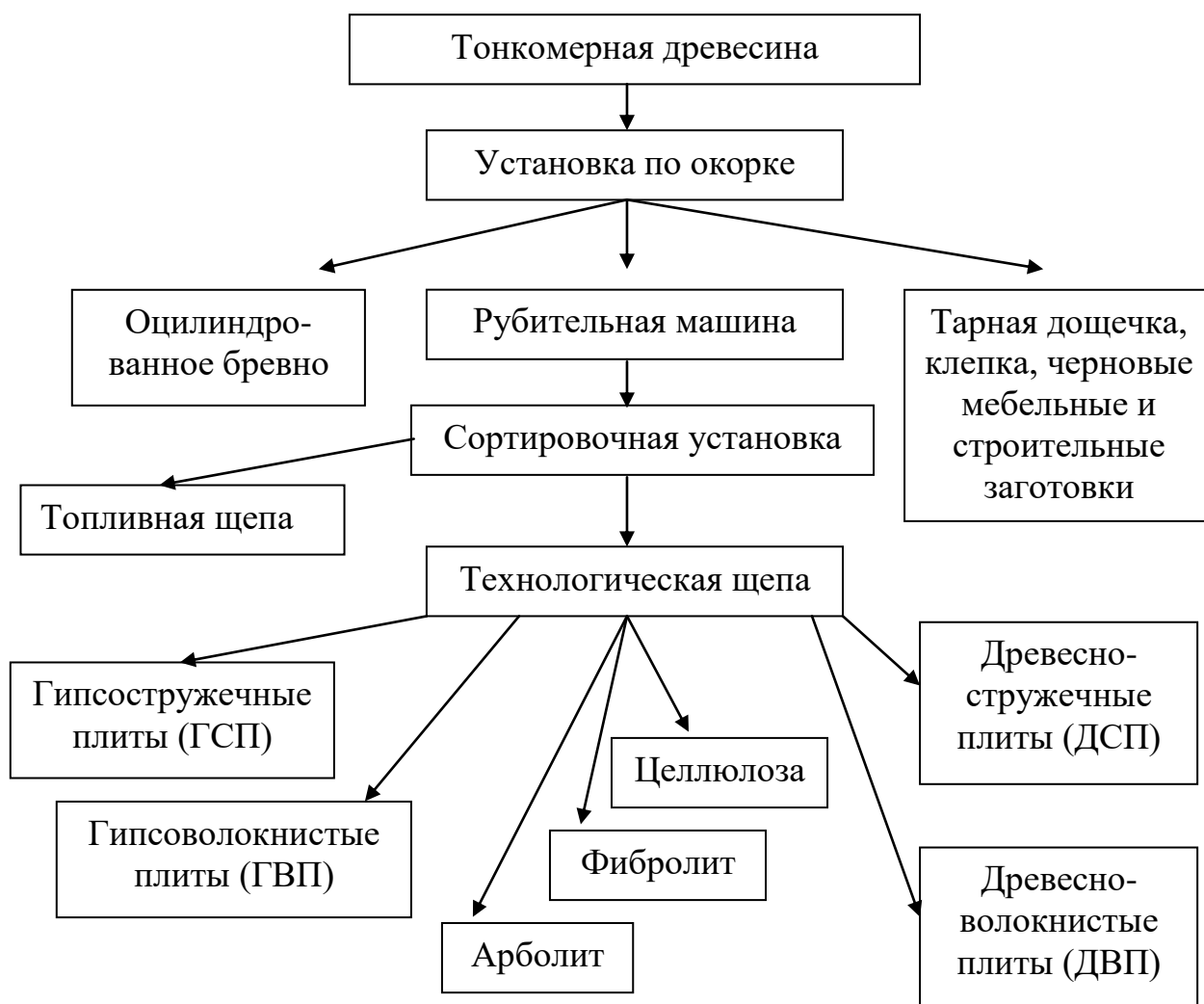


Рисунок 1.1 – Схема переработки окоренной тонкомерной древесины

1.2 Окорка лесоматериалов

1.2.1 Виды окорки лесоматериалов

Окорка круглого лесоматериала - это технологическая операция по удалению с его поверхности наружного слоя ствола: корки, луба, камбия, в зависимости от назначения. В настоящее время по степени удаления различных слоев коры различают три вида окорки: чистую, грубую и частичную (рисунок 1.2). При чистой окорке с поверхности лесоматериалов должны быть удалены полностью

корка, луб и камбиальный слой. Так как между камбиальным слоем и древесиной нет ясно выраженной границы, и клетки камбия постепенно переходят в клетки древесины, камбиальный слой можно удалить полностью только вместе с поверхностным слоем древесины. Поэтому в практике чаще всего чистой считают окорку со снятием поверхностного слоя древесины минимально возможной толщины. На экспортных балансах чистой окорки кора и луб не допускаются даже вокруг сучков и в углублениях.

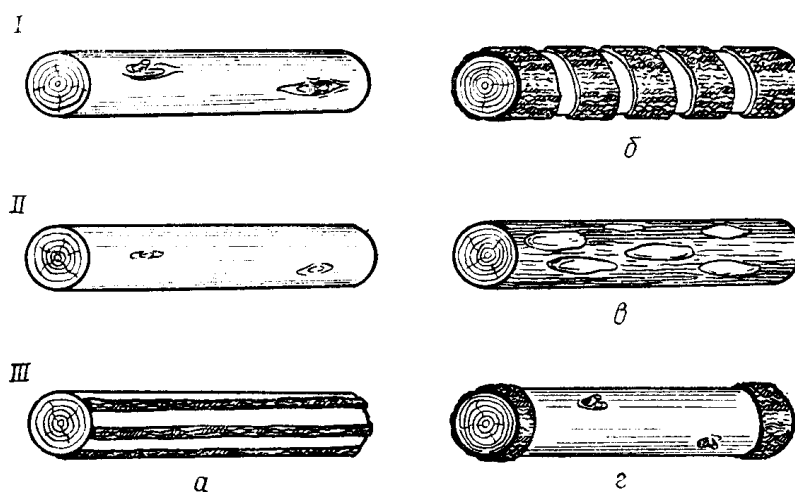


Рисунок 1.2 - Виды окорки: I - грубая; II - чистая; III - частичная: а) - с продольными полосами; б) - с поперечными полосами; в) - с пятнами; г) - с оставлением манжет

При грубой окорке удаляются корка и частично или полностью луб. В некоторых случаях регламентируется количество оставляемого луба.

При частичной окорке (пролыске) с поверхности лесоматериалов удаляется кора в виде отдельных полос или участков. Пролыске наряду с окоркой подвергают тонкомерное сырье, подлежащее сплаву. Эти операции обеспечивают наиболее полное высыхание лесоматериалов, что снижает или исключает затопление их при сплаве, предохраняет от растрескивания и порчи древесины короедами.

При поставке потребителям окоренных лесоматериалов наряду с качеством окорки (степень удаления коры), важное значение имеет товарный вид, т.е. качество окоренной поверхности. Как правило, ГОСТы и технические условия требуют, чтобы поверхность лесоматериалов была без механических повреждений (вырывы волокон, мшистость, проколы, вмятины и т. д.), которые снижают товарный вид, а сучья должны быть срезаны заподлицо. Окоренная древесина во всех случаях должна иметь чистую гладкую поверхность и неповрежденные торцы. Любая форма повреждения стволов вызывает дополнительные потери древесины при рубке или дефибрировании и неблагоприятно отражается на качестве вырабатываемой продукции, а также на условиях хранения бревен на складе.

В зависимости от назначения и требований к качеству очистки от коры все лесоматериалы можно распределить по следующим основным группам:

- сырье для целлюлозно-бумажного производства;
- сырье для производства древесностружечных и древесноволокнистых плит;
- сырье для гидролизного производства;
- лесоматериалы, подлежащие продольной распиловке; лесоматериалы, идущие на приготовление шпона; лесоматериалы, подлежащие пропитке антисептиками; лесоматериалы, применяемые в круглом виде без пропитки.

В особую группу следует выделить окоренные лесоматериалы, поставляемые на экспорт.

Размеры обрабатываемых лесоматериалов по длине и толщине согласно ГОСТ 9462-88, 9463-88, 616-82 должны соответствовать нормам, приведенным в таблице 1.1.

Качество окорки древесины характеризуется процентом окоренной поверхности лесоматериала, т.е. степенью окорки – Y , определяемой по формуле [18]:

$$Y = \frac{S - S_1}{S} \cdot 100 ; \quad (1.1)$$

где: S – площадь боковой поверхности лесоматериала;

S_1 – неокоренная площадь на поверхности лесоматериала.

Таблица 1.1 – Основные размеры лесоматериалов подлежащих окорке

Лесоматериалы	Длина, м	Толщина, см.	Порода
Балансы	0,75...2,5 и кратные	6...24	Все породы
В том числе на экспорт	1,0; 1,1; 1,2; 1,22 и кратные	-	То же
Пиловочник	4,0 и через 0,5 до 6,5	От 14	-
Рудничная стойка	4,0 и через 0,5 до 6,5	8...24	-
Столбы линий связи и автоблокировки	2,75...13,0	14...24	Сосна, ель, лиственница, кедр
Столбы линий электропередач	6,5...8,5	20...32	Сосна и лиственница
	7,0...7,5	22...36	
	9,0	22...30	
	11 и 16	20...27	
	13 и 18	26...28	

Государственные стандарты регламентируют качество очистки от коры сырья для химической и химико-механической переработки древесины. Качественная и размерная характеристики технологической щепы регламентируются ГОСТ 15815-83 [25]. Сульфитная варка допускает до 1 % коры в щепе, сульфатная варка и производство специальных высококачественных плит - до 3 %.

Чистой окорке подвергают только те балансы, которые идут на выработку высококачественных растворимых целлюлоз, беленых целлюлоз высокой белизны и целлюлозы для изоляционных бумаг. Наличие луба на таких балансах допускается не более 5 % первоначального объема.

С балансов, идущих на выработку газетной бумаги, кора удаляется полностью, но допускается содержание до 10÷15 % луба.

Степень окорки древесины зависит от назначения древесины и определяется показателями засоренности щепы корой (см. таблицу 1.2).

Таблица 1.2 – Требования к соответствию показателей качества технологической щепы [25]

Наименование показателя	Норма для марок щепы							
	Ц-1	Ц-2	Ц-3	ГП-1	ГП-2	ГП-3	ПВ	ПС
Массовая доля коры, не более	1,0	1,5	3,0	11,0	3,0	3,0	15,0	15,0
Массовая доля гнили, не более	1,0	3,0	7,0	2,5	1,0	1,0	5,0	5,0
Массовая доля минеральных примесей, не более	Не допускается	0,3	0,3	0,5	Не допускается	0,3	1,0	0,5
Массовая доля остатков на ситах с отверстиями диаметром:								
30 мм, не более	3,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	10,0	5,0
20 и 10 мм, не менее	86,0	84,0	81,0	90,0	90,0	94,0	79,0	85,0
5 мм, не более	10,0	10,0	10,0				10,0	
на поддоне, не более	1,0	1,0	3,0	5,0	5,0	1,0	1,0	10,0
Обугленные частицы и металлические включения	Не допускаются							

Приведенная таблица показывает, что изготовление качественной щепы возможно только при отсутствии коры.

Степень окорки в зависимости от засоренности щепы корой S , может быть вычислена по формуле [2]:

$$S = \frac{100(K_H - K_K)}{K_H}; \quad (1.2)$$

где: K_H – объем коры на древесине, % от объема ствола до окорки;

K_K – содержание коры в объеме щепы, %.

Качество окорки промышленных пород древесины, обеспечивающее предотвращение засорения щепы корой свыше установленного предела, приведено в таблице 1.3. Содержание коры в щепе 0,5-3 % требует окорки хвойной и лиственной балансовой древесины с качеством соответственно 92-99% и 94-99 %. На практике оценка качества окорки производится визуально и в

значительной мере субъективно [72, 73]. Качество окорки для многих сортиментов является важнейшим показателем, поэтому желательно в стандартах регламентировать потери древесины в отходы, а также чистоту поверхности.

Таблица 1.3 – Качество окорки промышленных пород древесины [75]

Порода древесины	Качество окорки пиловочника, % - в зависимости от количества коры в щепе, %									
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	5	11	12	15
Ель	98,7	97,4	96,0	94,7	93,4	92,1	86,8	71,0	68,3	60,4
Сосна	99,0	98,0	97,0	96,0	95,0	93,9	89,8	77,6	75,5	69,4
Осина	99,0	98,0	96,9	95,8	94,8	93,8	89,6	77,1	75,1	68,8
Лиственница	99,4	98,7	98,1	97,5	96,8	96,2	93,6	86,0	84,7	80,9
Береза	99,0	98,0	97,1	96,1	95,1	94,1	90,2	78,4	76,5	70,6

В нашей стране и за рубежом известны несколько способов окорки, а также более ста моделей различного по принципу работы и конструкции окорочного оборудования. Многообразие и разнотипность его объясняется большой изменчивостью форм, физико-механических свойств коры и древесины, различными требованиями промышленности к качеству окорки и времени года.

Существующие способы окорки лесоматериалов различаются по характеру воздействия сил или активных элементов на кору с целью ее отделения от древесины. Классификация способов очистки от коры древесины дана на рисунке 1.3 [3]. Современные способы окорки разделяются на индивидуальные и групповые. Индивидуальный способ окорки в свою очередь разделяется на фрикционный, режущий, струйный, физико-химический и ударный. Фрикционный способ окорки основан на различии механической прочности коры и древесины. Удаление коры происходит по наиболее слабой связи - камбиальному слою за счет сил трения инструмента о поверхность бревна или посредством взаимного трения бревен. Режущий основан на снятии коры острыми инструментами. Струйный – с помощью струи воды или газа. Физико-химический способ использует электрические, химические, вакуумные и другие физические явления для отрыва древесины.

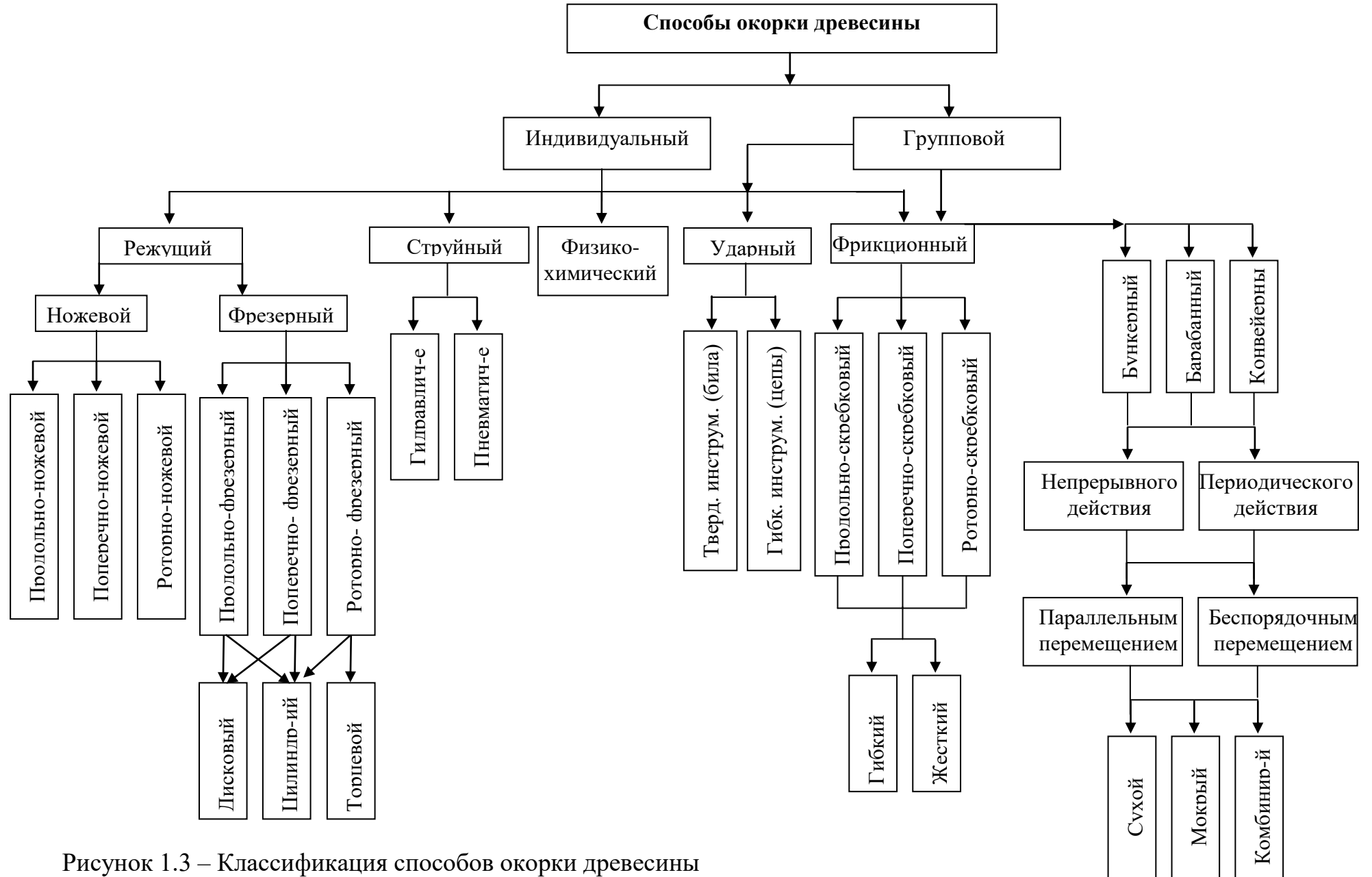


Рисунок 1.3 – Классификация способов окорки древесины

от коры или разрушения связи по камбиальному слою. Ударный способ окорки осуществляется за счет ударного взаимодействия инструмента с поверхностью лесоматериала.

Из всех существующих способов окорки, наибольшее промышленное применение получили - фрикционный, режущий, а также гидроокорка [73].

Основные направления поисковых работ свидетельствуют о широких исследованиях в области окорки древесного сырья. Цель этих работ состоит в том, чтобы ослабить связь коры с древесиной и таким образом облегчить ее отделение при последующей окорке. Разработанные методы или не вышли еще за рамки создания отдельных экспериментальных установок, или имеют недостатки, которые препятствуют их внедрению в производство. Целесообразно оценивать конкурируемые способы окорки с энергетической точки зрения в связи с проблемой экономии энергоресурсов.

Настоящие исследование базируются на фундаментальных работах видных ученых в области окорки лесоматериалов.

1.2.2 Краткий обзор и анализ оборудования применяемого для окорки тонкомерной древесины

Оборудование для окорки древесного сырья должно удовлетворять следующим требованиям:

- осуществлять чистую окорку лесоматериалов с наименьшими потерями древесины;
- окорять сырье различного гидротермического состояния – сухое, влажное, мерзлое;
- обрабатывать лесоматериалы различной формы и размеров, с кривизной, остатками сучьев и закомелистостью.

Используемое в настоящее время оборудование для фрикционной поштучной окорки круглых лесоматериалов достаточно многообразно.

Рассмотрим самые главные из них. По кинематическим признакам окорочные станки разделяются на продольные и поперечные. У продольных станков бревно перемещается вдоль оси навстречу инструменту (либо, наоборот, инструмент перемещается вдоль бревна). Сдвиг коры или резание происходит вдоль волокон древесины. У поперечных станков бревну придают вращательное или винтовое движение. Это близко совпадает с обработкой металла или дерева на токарных станках при полусвободной форме резания. При вращательном движении бревна инструмент перемещается вдоль оси бревна, а при винтовом - инструмент неподвижен. У роторных станков инструменты вращаются вокруг оси бревна, а бревно имеет продольно-поступательное движение. Кора сдвигается относительно волокон древесины в поперечном направлении по винтовой траектории.

Окорочное оборудование имеет также и структурно-конструктивные различия. В основу классификации заложено конструктивное оформление исполнительного механизма, тип короснимающего механизма.

По структурно-конструктивному признаку фрикционные станки разделяются: на скребковые и групповой обработки; режущие - на фрезерные и ножевые; струйные - на гидравлические и пневматические.

Скребковые станки по кинематике движения бревна (инструмента) различают: продольно-скребковые, поперечно-скребковые и роторно-скребковые.

Установки ударного действия осуществляют окорку за счет ударов по коре специальными билами или провисающими цепями, используя центробежные силы для натяжения. Они смонтированы на вращающихся валах (барабанах), а бревну придается вращательно-поступательное движение. Кора снимается полосами вдоль бревна.

Режущие станки представляют собой наиболее многочисленную и сравнительно давно известную в практике группу окорочных станков. Окорочный орган станков выполнен в виде фрез либо ножей.

Продольно-фрезерные станки в большей мере известны как переносные инструменты, базирующиеся на моторных пилах. Из стационарных станков известны окорочные станки, содержащие одну или несколько фрез, огибающих бревно по всей окружности.

Во многих странах мира используют поперечно-фрезерные окорочные станки. По конструктивному оформлению фрез станки подразделяются на дисковые и цилиндрические. Станки способны осуществлять окорку бревна различных размеров и форм, имеют небольшой вес и стоимость. Подающие механизмы станков вращают бревно по винтовой траектории, а фреза совершает колебательное движение, копируя при этом поперечную форму бревна.

Роторно-фрезерные станки, так же как и поперечно-фрезерные, разделяются на цилиндрические и торцовые.

Большое распространение на окорке тонкомерной древесины получили роторно-скребковые станки (ОК-36, ОК-66, ВК-10(16)), особенно в леспромхозах, лесопильных заводах, лесоперевалочных базах и целлюлозно-бумажных комбинатах малой и средней мощностей. Станок ОК-36 предназначен для окорки тонкомерных сортиментов. На его роторе имеются четыре короснимателя и четыре ножа для зачистки сучьев. Коросниматели и ножи прижимаются к поверхности окоряемых бревен с помощью гидроцилиндров, вмонтированных вместе с гидроприводом во вращающийся ротор. Механизм продольного перемещения лесоматериалов - гусеничный. Угловая скорость вращения ротора 37 рад/с, скорость продольной подачи кряжей 0,15-0,4 м/с. Мощность привода станка 28 кВт. Станок ОК-66 имеет такое же устройство, как и станок ОК-35. Он применяется для окорки круглых лесоматериалов длиной свыше 3 м и диаметром от 10 до 66 см, угловая скорость ротора 20 рад/с, скорость продольной подачи бревен от 0,1 до 0,7 м/с, мощность привода 40 кВт. Станок ОК-40М в отличие от станков ОК-36 и ОК-66 имеет две окорочные головки, одна из них с четырьмя короснимателями и одним коронадрезателем предназначена для снятия коры,

а другая с четырьмя зачистными ножами - для зачистки сучьев. Вместо зачистных ножей можно также устанавливать коросниматели, в этом случае окоренная поверхность получается более чистой. На станке можно окорять балансы и рудстойку длиной 1,5...7,5 м, диаметром от 6 до 35 см. Общая мощность приводов 29,7 кВт. Станки хорошо вписываются в поточные линии цехов большинства деревообрабатывающих производств, имеют достаточно высокую производительность. Как и все станки фрикционного типа, они в большей мере приспособлены для окорки сплавной и свежесрубленной древесины, особенно в период обильного сокодвижения. При окорке полусухих и мерзлых бревен, с изменчивостью их геометрических параметров верхний слой заболони подвергается большим деформациям сжатия, которые сопровождаются разрушением волокон древесины. Это придает поверхности задиристый, шероховатый и ворсистый вид, что при длительном хранении и перевозках способствует загрязнению и развитию деревоокрашивающих грибов, вредителей. Бревна с ройками, сучками и большой овальностью, обрабатываются неудовлетворительно. На углублениях и за сучками остаются полосы коры, а на выступах повреждается древесина. Недостатком роторных станков является невозможность окорки отходов, качественной окорки сортиментов малого диаметра. Одновременно с этим на поверхности бревна остается некоторая часть луба и коры.

Установки групповой обработки имеют следующие разновидности: бункерные, барабанные, конвейерные. Благодаря большой производительности и высокой степени механизации бункерные и барабанные установки получили широкое применение в целлюлозно-бумажной промышленности для окорки балансов и в леспромхозах для окорки низкокачественной древесины.

По характеру загрузки групповые установки различают периодического и непрерывного действия. По кинематике движения и расположения бревен вдоль оси установки разделяют на установки с

параллельным и беспорядочным перемещением древесины. Первые используют преимущественно для окорки бревен, а вторые - для чураков.

Большой объем древесины поступает в окорку на предприятия спустя 3-6 месяцев и более после ее заготовки. За такой период хранения влажность древесины значительно понижается, затрудняя окорку на станках фрикционной группы. Особенно сильно на процесс окорки влияет минусовая температура (от - 4°С и ниже). На мерзлой древесине окорка производится плохо, а применение специальных средств повышения температуры лесоматериала значительно увеличивает себестоимость продукции.

Продольно-скребковые станки в отечественной и зарубежной практике получили ограниченное применение, несмотря на их достаточно высокую производительность и незначительные потери древесины в стружку. Существенным недостатком станков является сравнительно низкое качество окорки из-за неудовлетворительного копирования инструментом поперечного сечения бревен различных диаметров. Помимо этого, кора интенсивно засоряет рабочие органы и полости станка, вследствие того, что она отделяется от бревен длинными полосами. Поперечно-скребковые станки в практике почти не используются из-за малой производительности. Характерной особенностью поперечных станков почти всех групп является наличие повреждений волокон древесины ствола в тангентальном направлении, проявляющихся в виде вырывов, зацепов и мшистости.

Станки режущей группы (ОК-40Б, ЛО-23, ЛО-24, ФБ-106ДС), предназначены для индивидуальной окорки древесины любого физического состояния. Окорочно-зачистные станки ЛО-23 и ЛО-24 предназначены для грубой окорки рудничной стойки и бревен с одновременной зачисткой сучьев. Станок ЛО-23 обрабатывает кряжи диаметром от 8 до 28 см и длиной от 1,5 до 3 м, станок ЛО-24 - бревна длиной от 1,5 до 6,5 м. Рабочим органом этих станков являются ножи, установленные в двух последовательно расположенных головках, в каждой головке по четыре ножа. Одновременно с окоркой режущий инструмент зачищает сучья, что важно при подготовке

древесины для сдачи на экспорт. Полностью удалить луб с подсушенных или подмороженных бревен возможно только вместе с верхним слоем древесины. При этом неизбежны потери древесины, которые на станках режущей группы достигают от 5 до 20 %. Это, а так же низкая производительность, являются серьезными недостатками, ограничивающим их широкое применение.

Существенным недостатком продольно-фрезерных станков является то, что при окорке требуется неоднократная обработка бревен по окружному контуру.

Станок ОК-40Б с режущими органами в виде цилиндрических фрез предназначен для окорки балансов. Станки с цилиндрическими фрезами при вращательном движении бревна и относительно тщательном удалении коры формируют мшистую поверхность с вырывами волокон, поскольку траектория резания направлена поперек к волокнам древесины.

Роторно-фрезерный станок с четырьмя торцово-коническими фрезами ОК-40С предназначен для чистой окорки балансов и столбов. Глубина резания регулируется изменением частоты вращения фрез, уменьшая потери древесины.

Дисковый станок ОД-1(2) предназначен для чистой и грубой окорки балансов и рудничных стоек. Рабочим органом является вертикальный вал с горизонтальным конусным диском. После обработки получается более гладкая, хотя и волнистая поверхность, поскольку при вращении диска направление резания продольно-поперечное.

Общими недостатками вышеприведенного оборудования являются:

- все вышеперечисленное оборудование устойчиво и качественно работает при окорке свежесрубленной, не мерзлой древесины, близкой к правильной (цилиндрической) форме;

- высокие затраты на приобретение, заточку, замену, настройку (обслуживание) режущих ножей, короснимателей.

- представляет серьезную опасность для рабочих органов - попадание в рабочую зону минеральных и металлических включений.

В работе по окорке балансов и рудстойки на лесных биржах ЦБК, ЦКК и ЛПК, применяются фрикционные установки групповой обработки. Около 90% всего перерабатываемого в целлюлозно-бумажном производстве древесного сырья очищается в корообдирочных барабанах и бункерных установках, которые продолжают оставаться основным видом окорочного оборудования раскряжевочно-окорочных и древесно-подготовительных цехов (РОЦ, ДПЦ). Корообдирочные барабаны типа КБ нашли широкое распространение при обработке низкокачественного сырья на лесозаготовительных предприятиях в составе комплекта стационарных установок по производству технологической щепы УПЩ-3А, УПЩ-6А, ЛТ-8, УПЩ-12 [101].

В установках для групповой обработки лесоматериалов окорка производится за счет трения, соударения бревен или поленьев между собой и об элементы машины путем их активного перемешивания в барабанах или бункерах сухим способом, увлажнением и с водяной ванной. Установки бывают периодического и непрерывного действия. При этом первоначально использовалась мокрая окорка, затем полусухая. В настоящее время новые технические и технологические решения обеспечили экономическую целесообразность перехода к сухой окорке, которая является приоритетной также и с экологической точки зрения [28].

В лесозаготовительной промышленности для сухой окорки низкокачественных коротких лесоматериалов и толстых сучьев длиной до 1,5 метров применяют барабанные установки периодического и непрерывного действия. Барабаны КБ-3 и БОМП-3 (ЛО-20) относятся к установкам периодического действия [105].

При групповой обработке режим окорки устанавливается исходя из требуемого среднего качества окорки. При этом вследствие различной способности к окорке часть лесоматериалов остается недоокоренной, а другая часть продолжает обрабатываться и после их полной окорки. В результате, при прочих равных условиях, затраты энергии и потери

древесины при групповой окорке выше, чем при поштучной. В то же время установки для групповой окорки способны обрабатывать мелкие лесоматериалы неправильной формы, поштучная окорка которых затруднена. В ряде случаев при групповой окорке возможно удаление или уменьшение содержания внутренней и наружной гнили.

Недостатками устройств групповой обработки являются:

- большие потери древесины в отходы, которые обуславливаются механическим разбиванием торцов баланса, его размочаливанием при ударах о стенки барабана, а также истиранием поверхности древесины при трении.

- значительные размеры и громоздкость окорочного оборудования с большими вращающимися массами и установленной мощностью, водоемкость (при полусухом способе окорки), уникальная, сложная конструкция, соответственно высокая цена оборудования, немалая сложность и стоимость монтажа, эксплуатации.

- недостаточная скорость выноса отходов окорки из внутренней полости, невысокое качество окорки и значительные потери при отрицательных температурах, высокий уровень шума, загрязнение пылью помещения цеха, загрязнение окружающей среды водными стоками.

Все указанное оборудование для окорки при очевидности своих плюсов все еще малопригодно для очистки широкого спектра лесоматериалов, характеризующихся большим разнообразием геометрической формы, размеров, массы.

Обзор рассмотренных методов как поштучной, так и групповой окорки позволяет сделать вывод о том, что ни один из них не дает полноценного решения стоящей задачи создания простого и эффективного, доступного оборудования.

Прогрессивным в настоящее время является разработка и применение окорочного оборудования с цеповыми рабочими органами (ЦРО), представителем вида гибких рабочих органов. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что ЦРО обладает

наибольшими конкурентными возможностями, основными из которых являются высокое качество окорки, малые потери древесины, низкая стоимость и малые затраты на обслуживание станка, возможность совместного проведения операций очистки от ветвей и сучьев с удалением коры стволовой древесины [58]. Конструктивными особенностями таких станков является малая металлоемкость, возможность модульного исполнения и автоматизации окорочного процесса, одновременной обработки нескольких древесных стволов разных диаметров и широким варьированием их геометрических характеристик, надежность и простота в эксплуатации. При окорке ЦРО вместе с корой удаляются различные минеральные включения, попадающие в кору при заготовке и сплаве сырья, причем на работоспособности это не отражается. ЦРО легко перенастраивается под любые породы древесины благодаря возможности регулирования силы воздействия рабочего инструмента. Благодаря минимальным требованиям и низким затратам по сервисному обслуживанию, лучшие технико-экономические и экологические возможности установки с ЦРО позволяют их производить как в стационарном, так и передвижном вариантах. Сокращение потребности в обслуживании окорочной установки с ЦРО дает менее частые простои и повышает эффективность окорочного процесса. Данные преимущества цеповой окорки дают возможность вписываться как при хлыстовой, так и сортиментной технологиях лесозаготовок, применяться и для лесохозяйственных мероприятий интенсивного лесопользования. Таким образом, способ ударной цеповой окорки может считаться эффективным и конкурентоспособным и требует исследований по определению его основных показателей процесса, области применения для сравнения с другими технологиями окорки.

1.3 Краткий обзор исследований в области создания окорочных установок с гибкими рабочими органами

Зарубежные страны серьезно занимаются разрешением проблемы окорки, создавая принципиально новое оборудование и продолжая совершенствование эксплуатируемого. Уже многие десятилетия развитые зарубежные страны, и в первую очередь США, Канада, Швеция и Финляндия являются мировым поставщиком интересных, экономичных проектов [95].

С самого начала использования гибких рабочих органов они были призваны как альтернатива жестким рабочим органам, так как обеспечивали большую максимальную сохранность заболони древесного ствола. Это обеспечивалось за счет наличия гибкой связи между частями рабочего органа. На рисунке 1.4 представлены основные виды применяющихся гибких рабочих инструментов.

Для лучшего обхвата поверхности лесоматериалов используются гибкие элементы: проволочные щетки, цепи, канаты, ремни с металлическими наконечниками. Гибкие элементы монтируются на специальных разводных рычагах (рисунок 1.5, а), либо на барабанах вогнутого профиля (рисунок 1.5, г). В первом случае гибкие инструменты не имеют специального привода, а во втором - барабаны приводятся во вращение электроприводом, при этом рабочие инструменты (цепи) могут монтироваться на барабанах с некоторым провисанием для использования центробежных сил для натяжения и удара инструмента по коре. Барабаны устанавливаются в 2-3 ряда при непрерывном перемещении бревна.

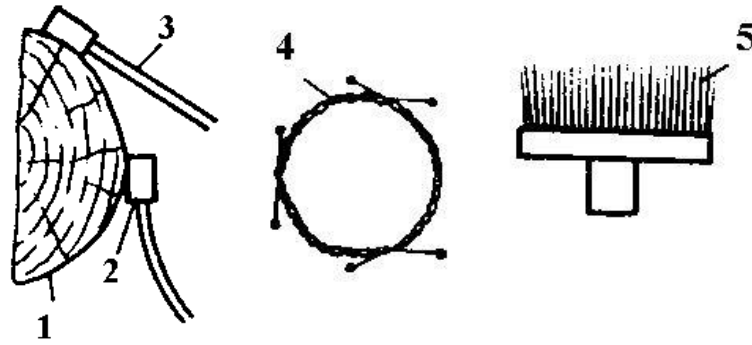


Рисунок 1.4 – Гибкие рабочие органы: 1 – круглый лесоматериал, 2 – било, 3 – державка, 4 – цепь (трос), 5 – проволочная щетка [74]

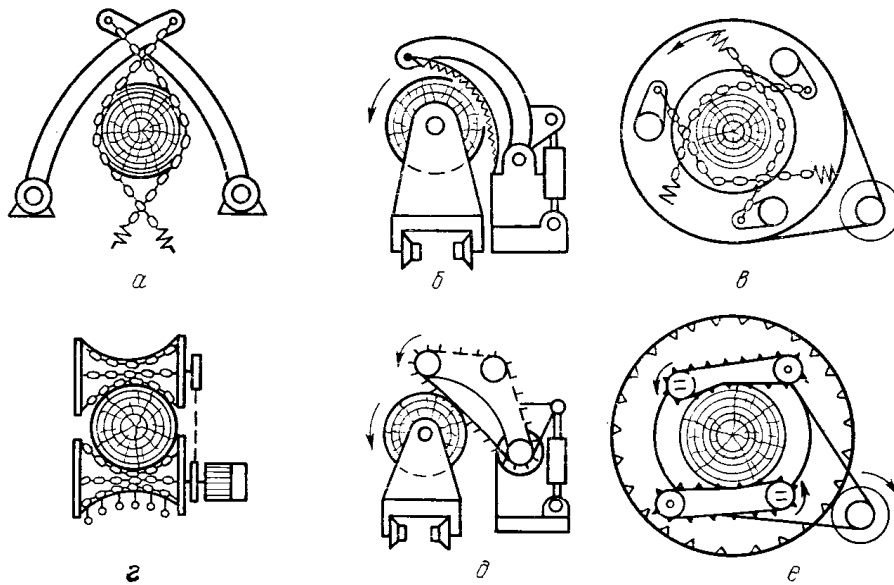


Рисунок 1.5 – Применение гибких органов в скребковых окорочных станках: а – неподвижные продольные, б – неподвижные поперечные, в – неподвижные роторные, г – подвижные продольные, д – подвижные поперечные, е – подвижные роторные [89]

К первым попыткам по созданию окорочных станков с использованием принципа продольной подачи и многоточечного контактирования рабочего инструмента с окоряемой поверхностью относится появление станка «Палмиа» (Швеция), рабочим органом которого являлись два вертикальных

цепных бесконечных полотна с приваренными косыми скребками. Окоряемое бревно подавалось сверху и обрабатывалось цепными полотнами, продвигаясь между ними [95].

На установках для окорки лесоматериалов в качестве гибких рабочих органов могут применять туго натянутые, перекрещивающиеся стальные канаты (рисунок 1.6). В американских станках «Клик», «Лоутер», «Т.В.А.» и «Вудпилер» обрабатывающий орган состоит из своеобразного барабана и туго натянутых цепей. Подача древесины в станок производится поверх или снизу вращающихся цепей (рисунок 1.8). Потребная мощность – 4,4 кВт, производительность - 4-6 скл. м³ за восьмичасовую смену при обслуживании одним рабочим [55].

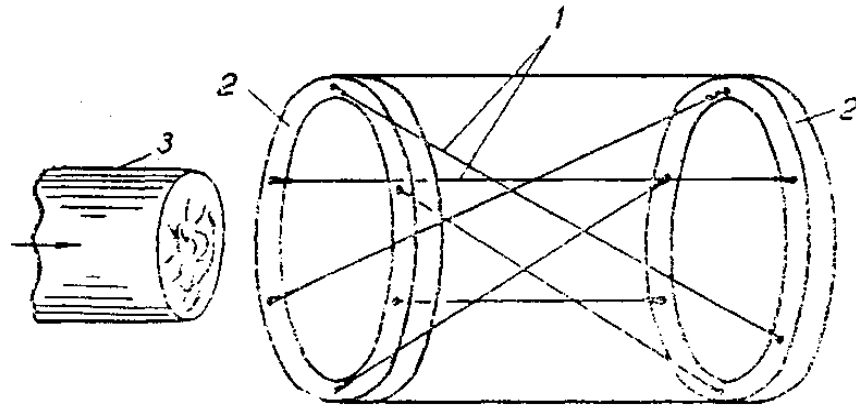


Рисунок 1.6 - Окорочное устройство с туго натянутыми, перекрещивающимися стальными канатами: 1 - корообдирочные элементы; 2 - кольца; 3 - обрабатываемый лесоматериал [53]

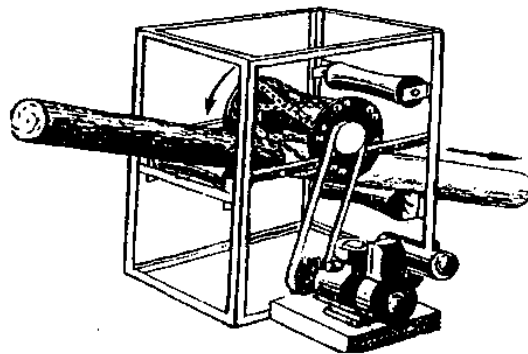


Рисунок 1.7 - Окорочный станок «Т. В. А.» [53]

Окорочный станок «Карпентер», изготовленный в США, работает по принципу поперечного охвата ствола. Рабочий орган представлен из четырех рядов стальных цепей, закрепленных на вращающемся валу. Механизм подачи одновременно придаёт бревну вращательно-поступательное движение. Потребная мощность такого станка равна 18 кВт (рисунок 1.8).

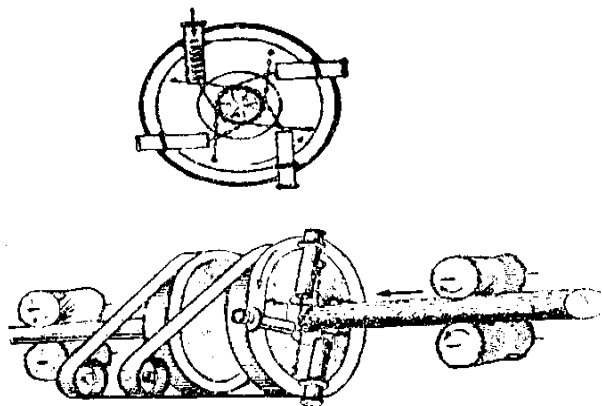


Рисунок 1.8 - Окорочный станок «Карпентер» [52]

Предшественником роторно-скребковых станков являлись роторные установки «Астрем» (Швеция). Рабочие инструменты в виде круглозвенных цепей, закрепленных между двумя роторами, вращающимися в одном направлении. Положение роторов может меняться относительно друг друга, что дает регулирование натяжения цепей при входе лесоматериала в станок и изменении диаметра. Для улучшения копирования неровностей обрабатываемой поверхности цепи подпружинены. В американском станке «Некуса» цепи заменены молотками, которые отрывают кору, ударяя по ней. Подача чурака и его вращение вокруг своей оси осуществляется от механического привода. Потребная мощность - 22 кВт. На станке можно окорить до 130 скл. м³ бревен за восьмичасовую смену при обслуживании его семью рабочими. Американский прототип «Уоткинс» и шведский прототип «Шельхольм» работают по принципу трения между древесиной и тупыми короснимателями с помощью цепного барабана [53]. Станок

«Шельхольм» для окорки древесины снабжен небольшими трехзвенными цепями. На конце каждой цепи прикреплен небольшой башмак (коросниматель) (рисунок 1.9). Окорка производится ударами башмаков. Качество окоряемой поверхности достигает до 95%. Потребная мощность станка – 7,4 кВт. Производительность достигает до 30 кл. м³ в смену при обслуживании одним рабочим [55].

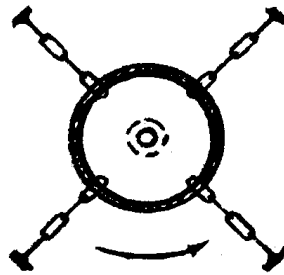


Рисунок 1.9 - Схема рабочего органа станка «Шельхольм»

Наибольших успехов в развитии данного вида окорочного оборудования добились в США. Фирмой «Manitowoc» были разработаны универсальные станки моделей HFDD-1858 и VFDD-1642 (4800), с цепными рабочими органами, отличающимися высокими эксплуатационными показателями [14, 108].

Модель HFDD-1858 стационарная и применяется в основном потоке лесообрабатывающего оборудования. Сырье подается в рабочую зону между вращающимися барабанами. Может обрабатывать как деревья, так и хлысты. Рабочие органы – цепи закреплены на двух горизонтальных барабанах, расположенных с небольшим смещением относительно друг друга (рисунок 1.10). Станок снабжен механизмом подачи, прижима и выноса древесного сырья роликового типа (1,5,7,8). Цепи (2) закреплены на валу (3) через кольцо-вертлюг (9) за приемное кольцо (10). На вращающемся барабане смонтированы защитные ограждения (4,6) в виде круглых, цельных металлических дисков.

Окорочные барабаны приводятся в движение индивидуальными гидромоторами.

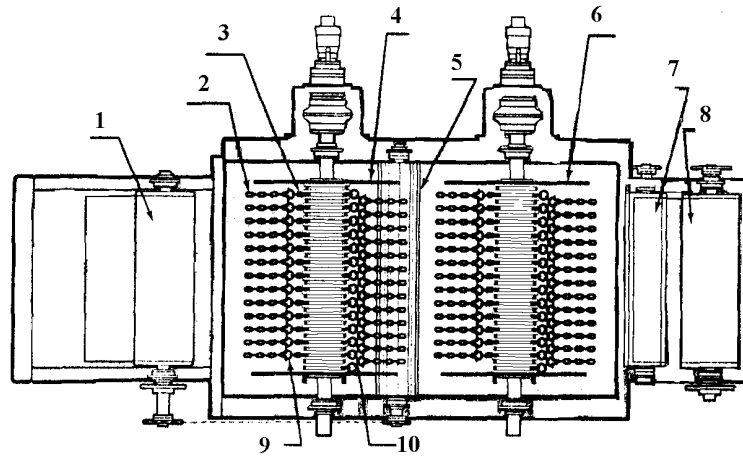


Рисунок 1.10 - Горизонтальный цеповой окорочный станок фирмы Manitowoc HFDD-1858 Delimber / Debarker (вид сверху) [108]

Окорочный станок VFDD-1642, смонтирован на двухосном прицепе, который передвигается при помощи колесного тягача (рисунок 1.11). Станок одновременно может окорять до четырех стволов. Приемный механизм выполнен в виде двух приводных цилиндрических вальцов, расположенных вертикально и способных сдвигаться и раздвигаться при помощи гидроцилиндров. Рабочие органы - цепи закреплены на двух вертикально установленных вращающихся барабанах с приводом от гидромоторов [108].

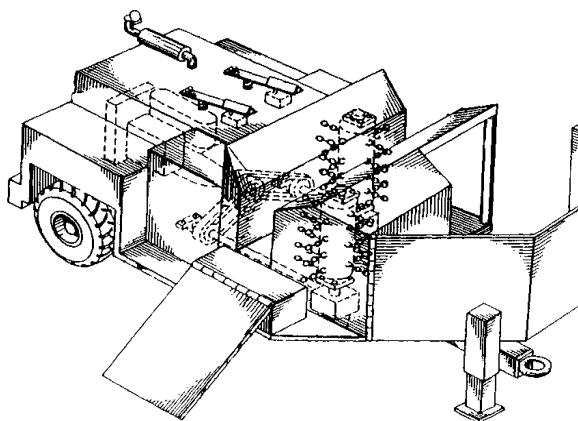


Рисунок 1.11 - Вертикальный окорочный станок VFDD-1642 [108]

На каждом валу имеется шесть рядов цепов. Для уборки коры служит специальный транспортер отходов. Станок приводится в действие от двигателя внутреннего сгорания. Частота вращения рабочих органов от 0 до 600 об/мин, скорость перемещения лесоматериалов 36 м/мин.

Обе модели обеспечивают эффективную переработку древесного сырья с различными размерно-качественными характеристиками, в разных природно-производственных условиях для производства щепы [108].

Передвижной окорочный станок изготовления американской фирмы «Husky Brute» FD-2300 (рисунок 1.12). В нем применены два окорочных цеповых барабана горизонтального типа. Этот окорочный станок отличается от станка фирмы «Manitowoc» тем что, верхний окорочный барабан способен перемещаться в вертикальной плоскости. Этим обеспечивается окорка лесоматериалов минимального и максимального диаметра. Привод барабанов осуществляется от двигателя внутреннего сгорания.

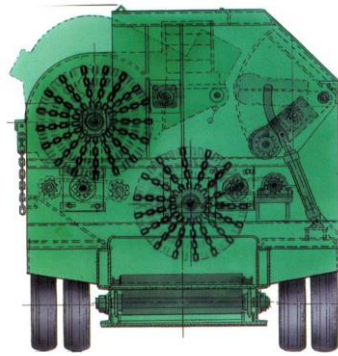


Рисунок 1.12 - Поперечный разрез окорочного станка FD-2300 Husky Brute [109]

Американские фирмы «Manitowoc», «Morbark», «Husky Brute» и другие пошли дальше по пути комплексной обработки древесного сырья. Они могут обрабатывать как подтрелёванные деревья, так и хлысты. Конечными продуктами их работы являются щепка, измельченные сучья, окоренные лесоматериалы. Оборудование производится как в стационарном, так и передвижном вариантах (рисунок 1.13). По данным фирмы - изготовителя, один комплект цепов обрабатывает до 3,5 тыс. м³ древесины.



Рисунок 1.13 - Лесной комбайн фирмы «Morbark 2755» [110]

Для окорки лесоматериалов на этих станках используется три вида цепов (рисунок 1.14). При окорке твердолиственных пород и при отрицательных температурах рекомендуется устанавливать цепи сдвоенные или с раздвоенным концом, в остальных случаях одну цепь. Срок

эксплуатации цепов зависит от плотности и толщины коры, свойств древесины, температуры окружающей среды, режимов работы.

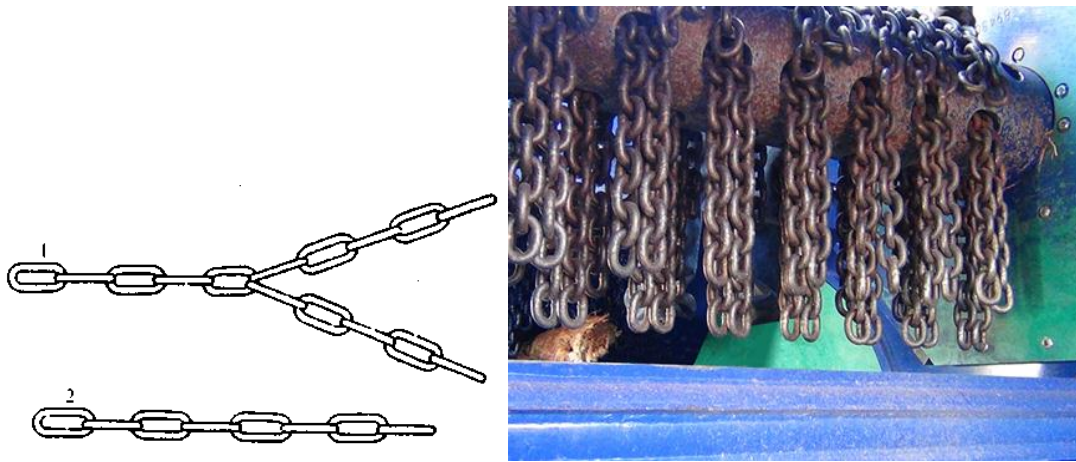


Рисунок 1.14 - Три вида цеповых рабочих органов

Считаем, что для проведения окорки наиболее подходит оборудование с ЦРО в виде отрезков цепей установленных одним концом на вращающихся валах (барабанах). Мировой опыт успешного использования подобного оборудования подтверждает данный выбор. А преимущества данного способа, позволяют использовать его в перспективных образцах деревообрабатывающего оборудования многооперационных сучкорезно-окорочно-рубительных машин – «лесных комбайнах». Применение оборудования с ЦРО, является одним из перспективных направлений рациональной, глубокой переработки древесного сырья с производством готовой продукции прямо на лесосеке. Подобное оборудование позволяет обрабатывать как единственное поваленное дерево, так и группу деревьев в подтрелёванном пакете совмещая операции по обрубке-измельчению сучьев, древесной зелени, окорки и получением щепы.

В работе с тонкомерной древесиной преимущества цепового органа – копирование поверхности оказываются более весомыми по сравнению с другими окорочными рабочими органами. Возможность окорки древесного

сырья различной геометрической формы, размеров, физико-механических свойств, высокая экономичность работы и эффективность использования позволили этому способу окорки широко распространиться за рубежом. На лесопромышленных предприятиях США для окорки широко используются стационарные и передвижные установки с ЦРО, отличающиеся высокими эксплуатационными показателями. Производительность последней из указанных моделей составила более 100 м³/ч при качестве окорки 90-98% и потерях древесины 3% [110, 111]. В России на Дальнем Востоке, Байкальском и Архангельском ЦБК было приобретено и подтвердило свою эффективность оборудование американской фирмы «Morbark». Данный комбайн производит 85% технологической щепы, оставшиеся 15% - топливная щепа. Очевидна экологическая выгода нового оборудования. Сухая окорка, нет ни стоков, ни сбросов, ни выбросов. Передвижное оборудование на месте перерабатывает круглую древесину, готовая щепа транспортируется в варочный цех на щеповозах, а кора - на ТЭЦ.

Многофункциональные возможности ЦРО по совмещению технологических операций по окорке с одновременным удалением и измельчением сучьев и ветвей крон деревьев представляют научный интерес. Окорка в установках с использованием ЦРО основана на воздействии пары: рабочий орган - поверхность лесоматериала. Рабочими органами являются - отрезки цепей - цепи, закрепленные в определенном порядке по образующей на поверхности приводного окорочного вала (барабана). В основе этого способа окорки лежит идея использования центробежных сил при больших скоростях вращения, что дает возможность получения необходимой жесткости цепов, предохранения их от остаточной деформации и самоочистки. Регулируя скоростью вращения, приведенную жесткость элементов, можно достичь эффекта такого силового воздействия цепов на поверхность лесоматериала, при котором происходит чистое удаление коры и копирование поверхности без потерь древесины. Основанием выбора

данного рабочего органа послужили потенциальные возможности эффективного использования ЦРО:

а) подтверждение эффективности цеповой окорки при анализе предварительно проведенных ряда сравнительных экспериментов с отрезками канатов и цепов с различными насадками - билами;

б) легкость в конструктивном изготовлении, надежность в эксплуатации, малая металлоёмкость;

в) возможность окорять геометрически искривленные стволы, по сравнению с другими рабочими органами окорочного оборудования (за счет хорошего копирующего свойства - самообхвата поверхности);

г) движение цепов по поверхности ствола вдоль волокон, где прочность коры максимальная, что способствует меньшему повреждению окоренной поверхности;

д) большая степень свободы у цепов, что обеспечивает «смягчение» удара (косой удар), предохранение от перегрузок и удаление из рабочей зоны элементов коры. Кроме того, создает потенциальную возможность управления качеством процесса окорки;

е) известность и широкое практическое применение рабочего органа – круглозвенных цепей, доступность и большая гамма выбора размерно-качественных характеристик выпускаемых отечественной промышленностью цепей, возможность их самостоятельного изготовления лесопромышленными предприятиями;

ё) успешный зарубежный опыт использования цепов в высокопроизводительном окорочном оборудовании.

В результате проведенного анализа литературных источников по выполненным ранее научным исследованиям по цепной окорке, иных работ кроме диссертационной работы Крисько А.С. [38], обнаружено не было. Проведенный анализ данной диссертационной работы выполненной на кафедре ТОЛЗ СибГТУ показал, что в ней приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по цеповой окорке

сегментных отходов лесопиломатериала. Доказана возможность эффективного протекания процесса окорки с помощью цеповых рабочих органов. В ходе теоретических исследований автором описаны: схемы взаимодействия цепов с обрабатываемым лесоматериалом в поперечном и продольном сечении; проведен анализ напряженно-деформированного состояния коры при воздействии. Определены усилия при взаимодействии гибкого рабочего органа с предметом труда. Проведены экспериментальные исследования по определению таких физико-механических свойств коры сосны и лиственницы как: толщина коры и ее зависимость от диаметра лесоматериала; напряжение скалывания коры и его зависимость от влажности; коэффициент трения коры по стали и его зависимость от влажности и величины нагрузки.

В экспериментах по окорке горбыля с влажностью 75% (взяты непосредственно из потока лесопильно-шпалорезного цеха) удаляется 98% коры, а горбыля увлажненного до 120%, степень окорки - 99 %. Анализ фракционного состава окорки (частиц коры, луба) показал, что процесс цеповой обработки очень сложен и в нем участвуют несколько эффектов: это и отскок чешуек коры в результате ударного действия цепи, и скол по камбиальному слою, и раздробление, и истирание, а также и другие еще неизвестные эффекты. Даны рекомендации по конструктивным параметрам рабочего окорочного органа и режиму работы: длина рабочих органов рекомендуется с количеством звеньев $n=6$; скорость подачи лесоматериала от 0,1 до 0,3 м/мин; линейная скорость вращения рабочими органами от 18 до 22 м/с.

В работе Криско А.С. отмечены следующие оставшиеся без достаточного исследования вопросы [38]:

- теоретическая модель процесса цеповой окорки не была создана;
- кинематические показатели процесса и виды подачи не исследовались;
- опыты проводились на малых скоростях подачи (0,005 м/с);

- значения удельной работы процесса окорения лесоматериалов не приводятся.

1.4 Основные физико-механические свойства коры, влияющие на процесс окорки

Основные размеры и физико-механические свойства коры являются важными характеристиками лесоматериалов как предмета труда при окорке. Знание данных показателей позволяет оценить требуемую для отделения участка коры от древесины величину механического воздействия, может быть использовано при обосновании рациональных режимов работы окорочного оборудования с учетом геометрических размеров обрабатываемых лесоматериалов, а также условий заготовки.

Окорка круглых лесоматериалов - это удаление с боковой поверхности наружного слоя ствола: корки, луба, камбия, в зависимости от назначения. Основное влияние на процесс окорки оказывает структура и физико-механические свойства коры.

Кора имеет более сложное строение, чем древесина. Она предназначена для выполнения сложных функций: проводить питательные вещества, выработанные листьями, и для защиты дерева от внешних неблагоприятных условий. Кора - комплекс тканей, образующихся из камбия, в виде двух слоев с постепенным или резким переходом от одного к другому: внутреннего, прилегающего к камбию, - луба и наружного - корки. Кора является своеобразной одеждой дерева и выполняет целый ряд физиологических функций в процессе его роста. Луб проводит по стволу образующиеся в листьях органические вещества, корка предохраняет ткани от механического повреждения, проникновения грибов и бактерий, резкого изменения температур, испарения влаги. Кора является следствием нормальной жизнедеятельности дерева. Камбий - граничный слой между древесиной и корой. Формирование коры на стволе дерева происходит в

зависимости от условий его роста и климатических факторов в районе лесонасаждения. В общем объеме ствола дерева кора составляет от 6 до 30 %, при этом большая часть коры имеет не волокнистое строение.

Исследования физических свойств коры проводились в Ленинградской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, Центральном научно-исследовательском институте механической обработки древесины, Свердловском научно-исследовательском институте переработки древесины и в других институтах в нашей стране и за рубежом.

Б.Н. Тихомиров, рассматривая зависимость средней толщины коры от диаметра ствола, подчеркивает, что колебания толщин у отдельных деревьев очень большие, но в среднем увеличение идет равномерно с увеличением диаметра ствола [97]. Аналогичные зависимости были установлены В.С. Попеко для районов Забайкалья [82].

Одним из признаков, положенных в основу при выделении форм древесных растений, является внешняя структура коры. Внешний облик коры, как диагностический признак, имеет большое значение, прежде всего для практических целей, так как по этому признаку можно определить возраст по глазомерной оценке.

По характеру поверхности кора может быть гладкой, бороздчатой, чешуйчатой, волокнистой и бородавчатой. Бороздчатой называют кору с более или менее глубокими продольными и поперечными бороздами (например, кора дуба). Чешуйчатая кора имеет обычно легко отслаивающиеся чешуйки (например, кора сосны). Чешуйки, наслаиваясь одна на другую, могут образовывать толстые слои неравномерной толщины. Таким образом, получается чешуйчато-бороздчатая кора на старых соснах и лиственницах. Волокнистая кора может отслаиваться длинными продольными лентами (например, кора можжевельников). Бородавчатая кора покрыта мелкими бородавками (например, кора бересклета бородавчатого). У некоторых видов деревьев на коре образуются пробковидные наросты (бархат амурский, дуб пробковый).

Чем больше диаметр ствола дерева, тем толще кора (таблица 1.4). Толщина коры уменьшается от комля к вершине ствола, и соответственно изменяется относительный объем коры по высоте ствола. Например, в среднем для лиственницы, у пня кора составляет 29,5 %, на высоте 1,3 м - 19,0 %, на высоте 1/4 и 1/2 от высоты дерева - 13,5 %, и на высоте 3/4 от высоты дерева - 5 %. С возрастом дерева относительный объем коры уменьшается: чем больше диаметр ствола, тем меньше доля коры в объеме ствола [11]. В пределах одной породы относительный объем коры тем больше, чем хуже условия произрастания дерева. Показатели свойств коры различных пород существенно различаются [15, 82].

Таблица 1.4 – Зависимость толщины коры от диаметра ствола [88]:

Порода	Место замера*	Толщина коры, мм при диаметре бревна, см					
		12	20	28	36	44	48
Сосна	К	2,0	2,8	5,0	12,0	16,0	20,0
	С	1,8	2,2	3,0	5,0	6,5	-
Ель	К	3,0	4,0	4,5	6,0	9,0	10,0
	С	3,0	3,8	7,5	5,5	7,0	-
Береза	К	4,0	6,5	7,5	11,0	14,0	16,0
	С	4,0	6,0	7,5	11,0	-	-
Осина	К	-	-	10,0	12,0	14,0	15,0
	С	4,2	7,0	25,0	12,0	14,0	15,0
Лиственница	К	17,0	20,0	25,0	27,0	30,0	31,0
	С	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0

*К – комель дерева на высоте примерно 1,5 м; С – середина ствола

По данным исследований, плотность коры зависит не только от породы дерева и содержания влаги, но и месторасположения ее на стволе. В таблице 1.5 приведены средние значения плотности при фактической влажности коры деревьев, срубленных в июле [93].

Плотность коры, по данным проф. Н.Л. Леонтьева, при 15% влажности в среднем равна для сосны 688 кг/м³, ели 737, березы 746 кг/м³ [49].

Таблица 1.5 - Плотность коры свежесрубленных деревьев

Порода	Комель		Середина хлыста	
	Плотность, кг/м ³	Влажность, % (абс)	Плотность, кг/м ³	Влажность, % (абс)
Сосна	470	42,5	866	143,0
Ель	660	54,5	740	80,0
Береза	830	79,5	900	71,4
Осина	750	106	880	95,0

Наличие пустот (пор) в слое коры, особенно в корке, делает ее сравнительно легким материалом. Однако она хорошо поглощает воду, вследствие чего быстро набухает и тонет.

Влажность коры определяется количественным содержанием в ней воды, выраженным в процентах. По данным ЦНИИМОД, абсолютные влажности корки и луба существенно различаются для свежесрубленных и сплавных бревен. В зависимости от соотношения луба и корки средняя влажность коры свежесрубленных лесоматериалов у различных пород колеблется от 60 до 150%. У сосны средняя влажность коры на середине хлыста значительно повышается за счет преимущественного содержания луба и достигает до 180%; у ели соответственно до 120%. Динамика влажности по месяцам представлена на рисунке 1.15. Изменение сил сцепления коры с древесиной по времени года представлено на рисунке 1.16 [89].

Большое влияние на процесс окорки оказывают механические свойства коры. Величины возникающих в процессе окорки сопротивлений, характер разрушения и отделения слоев коры друг от друга и от древесины определяются ее механической прочностью и связями с древесиной и между собой. Механические свойства коры зависят в основном от ее структуры и влажности. Так, при влажности менее 16 % кора представляет собой хрупкий материал, который легко ломается вдоль и поперек волокон, при влажности более 30 % кора становится пластичной. Одним из основных свойств коры является предел прочности коры. Существуют различные виды предела

прочностей коры в зависимости от ее направленности к волокнам лесоматериала: радиальное, тангентальное и вдоль волокон; от вида возникающих деформаций: перерезание, сжатие и скалывание. Предел прочности в момент нарушения пропорциональности между усилием и деформацией, называют условным пределом прочности.

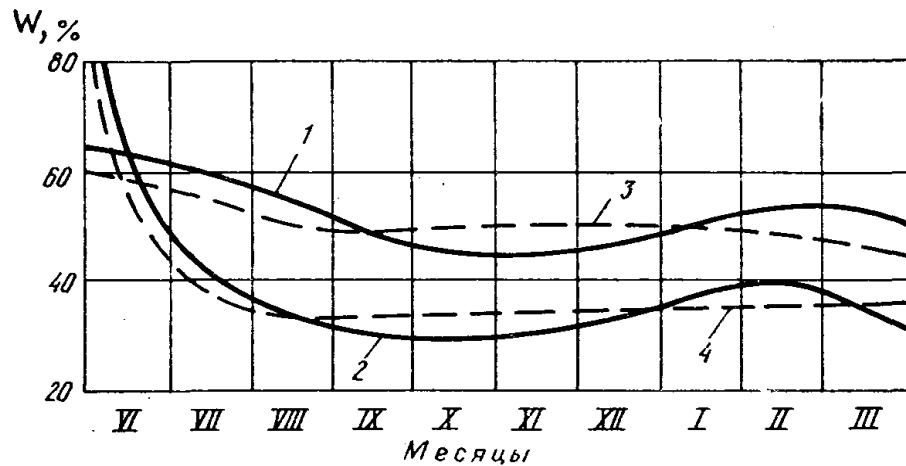


Рисунок 1.15 - Динамика влажности коры и древесины свежесрубленных и сплавных лесоматериалов: 1 - кора ели свежесрубленной; 2 - кора ели сплавной; 3 - заболонь ели свежесрубленной; 4 - заболонь ели сплавной

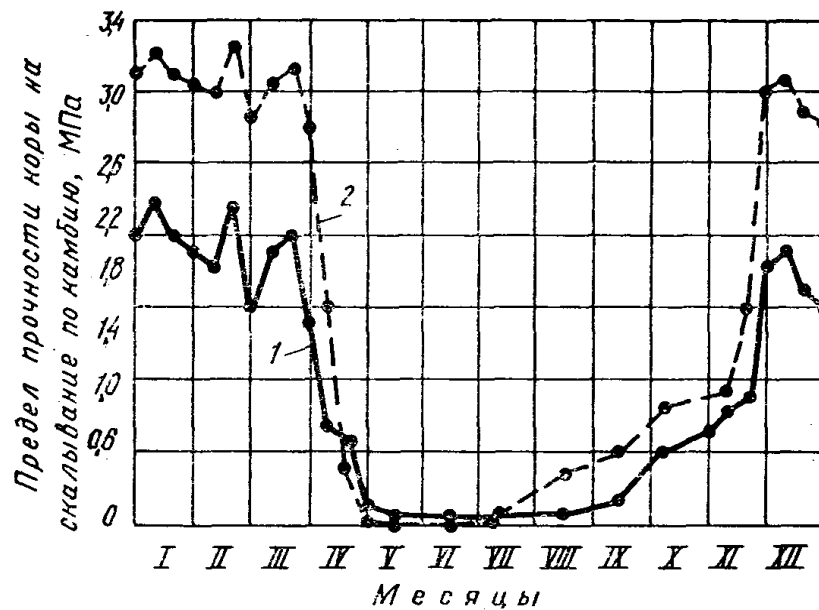


Рисунок 1.16 - Изменение сил сцепления коры по времени года: 1 - ель; 2 - береза

Исследования пределов прочности коры проводились в ЦНИИМЭ [92]. Предел прочности на скалывание зависит от многих факторов, важнейшим из которых являются: порода древесины, температура, в летнее время - влажность древесины.

Предел прочности коры на скалывание по камбиальному слою вдоль волокон в зависимости от породы и влажности древесины приведен в таблице 1.6 [89].

Таблица 1.6 - Зависимость предела прочности на скалывание от влажности

Порода и состояние древесины	Влажность древесины, %						
	30	40	50	70	100	130	150
Предел прочности на скалывание, вдоль волокон, МПа							
Свежесрубленная							
Ель	2,06	-	1,4	0,84	0,46	0,29	-
Сосна	-	1,06	-	0,76	0,50	0,40	0,32
Береза	-	1,17	-	0,61	0,25	-	0,12
Осина	2,20	-	1,28	0,76	0,44	0,25	-
Сплавная							
Ель	1,56	-	0,84	-	0,45	-	-
Сосна	-	1,40	-	0,65	-	0,37	-
Береза	1,7	-	0,89	-	0,43	-	0,22

С понижением температуры силы сцепления коры с древесиной возрастают в пределах от 3 до 5 раз; сопротивление скалыванию коры вдоль волокон при этом выше, чем поперек волокон на величину от 15 до 20% [89]. В летнее время существенное влияние на прочность сцепления коры с древесиной оказывает влажность древесины. При более низкой температуре предел прочности коры возрастает в основном из-за увеличения прочности ледяных включений. В таблице 1.7 приведены значения пределов прочности на скалывание коры в направлении вдоль и поперек волокон по данным [89].

Таблица 1.7 - Зависимость предела прочности на скалывание от направления относительно волокон

Измеряемая величина и условия определения	Порода древесины				
	Лиственница	Сосна	Ель	Пихта сибирская	Береза
Предел прочности коры влажностью 40 % на скалывание при температуре до 15°C, МПа, вдоль волокон	1,4	0,95	1,22	1,2	1,0
поперек волокон	0,65	0,5	0,45	1,2	0,7
То же при температуре минус 25°C, вдоль волокон	3,2	2,0	2,3	2,3	2,8
поперек волокон	2,5	1,8	2,0	2,0	1,4

Как показал анализ научно-технической литературы, физико-механические свойства древесины изучены достаточно хорошо. В литературе можно найти для различных пород древесины значения ее плотности, прочности при сжатии вдоль и поперек волокон, предела прочности при скалывании вдоль и поперек волокон, прочности при сдвиге, модулей упругости и модулей сдвига и т.д. Но при этом к настоящему времени еще не все физико-механические свойства коры изучены достаточно хорошо. Для понимания сути процесса отделения коры от древесины при механической окорке, а также совершенствования оборудования и определения оптимальных режимов его работы возникает необходимость в знании физико-механических свойств коры и силы ее сцепления с древесиной. Современным исследованиям по изучению условного предела прочности коры на скалывание по камбиальному слою, жесткости и силы сцепления коры с древесиной посвящены работы А.С. Васильева [10, 11, 12, 13]. Исследованиям напряжений изгиба при процессе разрушения коры при групповой окорке в барабанах занимался А.Е. Лукин [51].

1.5 Выводы по главе и задачи исследования

Анализ состояния проблемы позволяет сделать следующие выводы:

1) Для повышения эффективности работы лесопромышленных предприятий необходимо вовлекать дополнительные древесные ресурсы в виде тонкомерных и сегментных лесоматериалов в качестве дополнительного источника сырья в производстве технологической щепы, биотоплива и другой продукции;

2) Удаление коры с тонкомерных и сегментных лесоматериалов является одной из наиболее трудоемких технологических операций. Существующее отечественное окорочное оборудование не предназначено для окорки таких лесоматериалов, что делает актуальными научные исследования, направленные на создание нового оборудования;

3) Гибкие рабочие органы – вращающиеся на барабане цепи являются универсальными рабочими инструментами, позволяющим обрабатывать широкий спектр лесоматериалов разнообразных геометрических форм и физического состояния, а учитывая положительный зарубежный опыт, можно считать создание технологии цеповой окорки перспективным направлением совершенствования технологий окорки;

4) Анализ результатов исследовательских работ в области цеповой окорки показывает, что в настоящее время процесс недостаточно изучен. В некоторых исследованиях рассматривалось контактирование с точки зрения силового взаимодействия цепа и коры лесоматериала, не затрагивая вопросов ударных явлений взаимодействия, энергетических показателей процесса, режимных параметров работы.

Анализ состояния вопроса, сформулированные выводы позволяют определить цель и задачи исследований.

Целью исследования является создание технологии окорки на основе оборудования с цеповыми рабочими органами для обработки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать математические модели взаимодействия цепов и обрабатываемой поверхности для расчета технологических, конструктивных и энергетических параметров процесса цеповой окорки, предложить технические решения, позволяющие выполнять цеповую окорку горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов;

2. Разработать методику экспериментальных исследований и изготовить экспериментальную установку для цеповой окорки с целью исследования энергетических, технологических и конструктивных параметров;

3. На основе анализа результатов экспериментальных исследований определить рациональную скорость подачи при минимальных энергетических затратах и высоком качестве очистки лесоматериалов от коры;

4. Для обеспечения внедрения результатов исследований в практику разработать рекомендации для проектирования оборудования цеповой окорки горбыля и тонкомерных круглых лесоматериалов, дать сравнительный анализ энергозатрат цеповой окорки с другими технологиями и выполнить оценку экономического эффекта от использования результатов в производстве.

Глава 2. Теоретическое обоснование процесса окорки цеповыми рабочими органами

2.1 Основное кинематическое соотношение при цеповой окорке

В соответствии с направлением движения инструмента по отношению к волокнам древесины окорка бывает следующих типов: продольная, поперечная, под углом.

Нами рассматривается случай продольной окорки круглых лесоматериалов. По кинематике процесса данный способ окорки подобен продольному цилиндрическому фрезерованию древесины [36, 85]. Отличаются виды обработки древесины только назначением и рабочими органами. Если окорка предназначена для образования новой поверхности без остатков коры, то фрезерование применяется для придания заготовкам заданной формы, размеров и шероховатости.

Процесс цеповой окорки стволов древесины основан на сочетании двух одновременно действующих равномерных движений - вращательного и поступательного, которые определяют возможные различные кинематические схемы взаимодействия. Поле вращения может быть по направлению движения часовой стрелки или против часовой стрелки. При этом в зоне окорки проекция вектора скорости окорки на направление подачи будет направлена навстречу вектору скорости подачи или совпадать с ним. Таким образом, окорка может быть встречной или попутной.

В процессе вращения приводного окорочного вала цеп занимает радиальное положение под действием центробежной силы:

$$F_{цб} = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (2.1)$$

где: m - масса звена вращающегося цепа;

ω - угловая скорость вращения конечного звена;

R - радиус вращения звена цепа.

Общая центробежная сила всех звеньев цепа определится:

$$F_{цб} = m \cdot \omega^2 \cdot R_1 + m \cdot \omega^2 \cdot R_2 + \dots + m \cdot \omega^2 \cdot R_n = m \cdot \omega^2 \sum_{i=1}^{i=n} R_i, \quad (2.2)$$

где: n - количество звеньев цепи.

Для того чтобы в процессе вращения цеп занял радиальное положение, необходимо выполнить условие, чтобы центробежная сила превысила силу тяжести цепи:

$$F_{цб} > F_T,$$

где: $F_T = m \cdot g$ - сила тяжести;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Тогда $m \cdot g < m \cdot \omega^2 \cdot R$, откуда

$$\omega > \sqrt{\frac{g}{R}}; \quad (2.3)$$

Общая масса звеньев цепи найдется:

$$M = m \cdot n; \quad (2.4)$$

Используя ранее приведенные формулы, имеем:

$$m \cdot \omega^2 \sum_{i=1}^{i=n} R_i > m \cdot n; \quad (2.5)$$

Выразим угловую скорость:

$$\omega^2 > \frac{m \cdot n}{m \cdot \sum_{i=1}^{i=n} R_i} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{i=n} R_i}; \quad (2.6)$$

Минимальная угловая скорость вращения, при которой цеп примет радиальное положение определится:

$$\omega = \sqrt{\frac{n \cdot g}{\sum R_i}}. \quad (2.7)$$

При рассмотрении основных кинематических зависимостей, возьмем уже установившееся движение. В этом случае окружная скорость конечного элемента цепи постоянная, ускорение равно нулю, центробежная сила максимальна. Цеп находится в рабочем положении - располагается радиально в вертикальной плоскости, перпендикулярно оси приводного вала. Такое движение будет равномерно-вращательное. Таким образом, главное

движение - вращательное, а движение подачи обрабатываемого ствола - прямолинейное поступательное. Результирующая скорость окорки находится как векторная сумма скорости главного движения и скорости подачи. Линейная скорость главного движения в разы больше скорости подачи, поэтому скорость окорки, принимается равной скорости главного движения и находится по формуле:

$$V = w \cdot R; \quad (2.8)$$

Шаг между рядами цепов

$$t_p = \frac{2\pi R}{Z}, \quad (2.9)$$

где: Z – число рядов цепов на валу.

Кинематическое соотношение между скоростью подачи и скоростью окорки выражается зависимостью

$$\frac{U}{V} = \frac{e}{t_p}, \quad (2.10)$$

где: U – скорость подачи (надвигания);

V – линейная скорость цепа;

e – расстояние между двумя соседними ударами цепа (предлагаем в дальнейшем называть эту величину новым термином - шагом удара).

Отсюда скорость подачи бревна

$$U = \frac{V \cdot e}{t_p} = \frac{w \cdot R \cdot e}{\frac{2\pi R}{z}} = \frac{zw \operatorname{Re}}{2\pi R} = \frac{zwe}{2\pi}; \quad (2.11)$$

а подача на один удар

$$e = \frac{U \cdot t_p}{V} = \frac{U \cdot \frac{2\pi R}{Z}}{w \cdot R} = \frac{2\pi U}{Z \cdot w}. \quad (2.12)$$

2.2 Силовое взаимодействие цеповой окорки

Процесс цеповой окорки принципиально отличается от других известных способов. Так, при фрезерной окорке кора срезается ножами, и определяющим фактором в этом процессе является сопротивление коры перерезанию поперек волокон. При фрикционной окорке главным является уже предел прочности на скалывание коры вдоль и поперек волокон по лубу или камбиальному слою (в идеальном случае). При цеповой же окорке кора разрушается в результате воздействия на нее в нормальном направлении ударной силы. Определяющим в этом случае является уже предел прочности коры на сжатие поперек волокон.

Цепы закреплены одним концом на валу, второй свободный. Цепы могут находиться в следующих состояниях: покоя, когда приводной вал неподвижен; разгона; установившегося движения; в процессе окорки. В состоянии покоя цепи под действием силы тяжести располагаются под разными углами к радиусу окружности вала, в зависимости от того, в каком секторе находится цеп. В верхней части они ложатся на приводной вал, в нижней части провисают. При увеличении оборотов вращения вала, цепи под действием центробежной силы начинают выпрямляться и занимать положение близкое к радиусу окружности в вертикальной плоскости. Окончив набор скорости вращения, цепи радиально выстраиваются в рабочее состояние.

При окорке цепи несколько замедляют свое круговое движение, начинают отклоняться в противоположном направлении движения и после прохода сектора взаимодействия, начинают вновь выстраиваться в радиальном направлении приводного вала за счет восстанавливающей центробежной силы.

Рассмотрим более подробно два последних интересующих нас рабочих состояния: установившегося движения и в процессе окорки (взаимодействия с окоряемой поверхностью древесины).

При установившемся движении, окорочный вал с ЦРО будет совершать равномерное круговое движение с угловой скоростью ω . На звенья цепи при этом будут воздействовать сила тяжести и центробежная сила. Сила тяжести в динамичных рабочих условиях будет иметь минимальное сравнительное значение, поэтому ей мы пренебрежем. Звенья цепи вращаются с разной линейной скоростью, которая увеличивается по мере удаления от точки вращения. Последнее звено будет иметь максимальную линейную скорость.

Сила удара определится согласно второму закону Ньютона, как

$$P = ma = m \frac{dv}{dt}; \quad (2.13)$$

Однако определение силы удара по формуле (2.13) весьма затруднительно, так как неизвестно время процесса соударения, т. е. время, в течение которого скорость движущегося звена снижается от своего максимального значения в момент соприкосновения с корой (начало удара) до минимума после деформации последнего (конец удара). Поэтому целесообразнее воспользоваться так называемым энергетическим методом, основанным на законе сохранения энергии. Затраты энергии определить аналитически и практически значительно проще. Энергетические параметры (энергоемкость) являются производными силовых и технологических параметров процесса окорки [62].

2.3 Динамика цеповой окорки

При вращении вала, свободные концы цепов - (конечные звенья) под действием центробежных сил приобретают необходимую квази- жесткость и ударяют по бревну, тем самым производят снятие коры по камбиальному или лубяному слою. При заходе на ствол, ряд конечных элементов (звеньев) ЦРО охватывает поверхность бревна, по дуге контакта воздействуя на поверхность косым ударом. Под действием динамического, механического

усилия со стороны конечных звеньев кора разрушается, отрывается и отбрасывается. При круговом движении конечных звеньев цепового поля на поверхности древесины в горизонтальной плоскости кора удаляется по образующей, имеющей параболическую форму, при рассмотрении в вертикальной плоскости - в виде полос оставляемых в массиве коры.

Для удовлетворительного развития процесса окорки, необходимо такое взаимодействие, при котором конечный элемент цепи, внедрялся в кору, снимал и удалял лежащие по направлению движения участки коры древесины за один проход. Процесс взаимодействия включает в себя быстротечные и одновременно развивающиеся стадии различных деформаций: уплотнения, прессования и смятия частиц корки, луба и камбия, и их мгновенного сдвига, скалывания, истирания и отрыва от обрабатываемой поверхности. В этом случае имеются два варианта взаимодействия с поверхностью бревна. В первом, более простом случае зацепление с корой осуществляется только последним звеном цепи (рисунок 2.1, а). При данном взаимодействии процесс подобен фрезерной обработке.

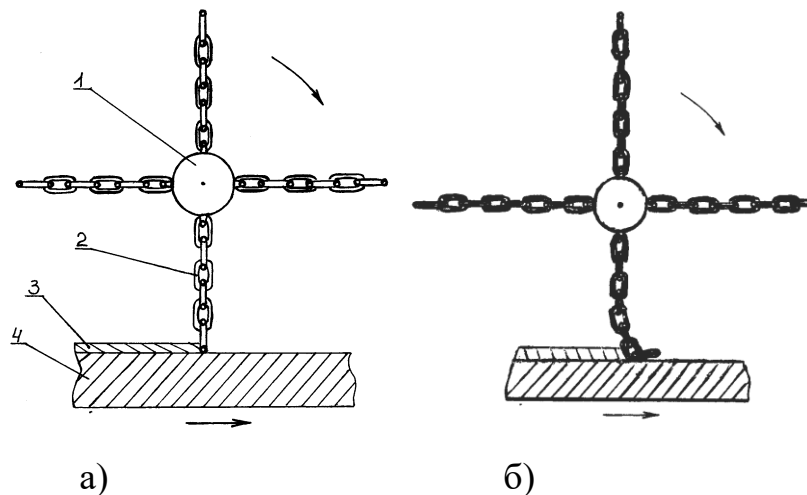


Рисунок 2.1 - Общий вид процесса взаимодействия звеньями цепи: – а, одним последним звеном, – б, несколькими звеньями: 1 – вал окорочный приводной, 2 – цепь, 3 – слой коры, 4 – древесина.

Во втором, более сложном случае - зацепление с поверхностью производится несколькими звеньями цепи (рисунок 2.1, б). Взаимодействие сопровождается дополнительными точками контактов с поверхностью. Рассмотрим первый вариант, как поиск по пути от простого к сложному.

Рабочую зону ЦРО составляет дальняя часть звеньев цепи от оси вращения. Она создает и поддерживает в зоне контакта такую степень локализации и концентрации напряжений, которая обеспечивает непосредственно разрушение связей массива коры преимущественно по камбиальному слою. Так как процесс окорки ЦРО сложен для аналитического описания, предварительно рассмотрим схему сил в статике, действующих в процессе взаимодействия единичного цепя и массива коры.

Рассмотрим два возможных варианта работы окорочной установки. Это попутное и встречное движение окорочного вала с цепями по направлению подачи лесоматериала. На схемах (рисунки 2.2 и 2.3) показаны взаимодействия при попутной и встречной окорке. Видно, что главным различием является расположение ударной силы P относительно оси X и Y .

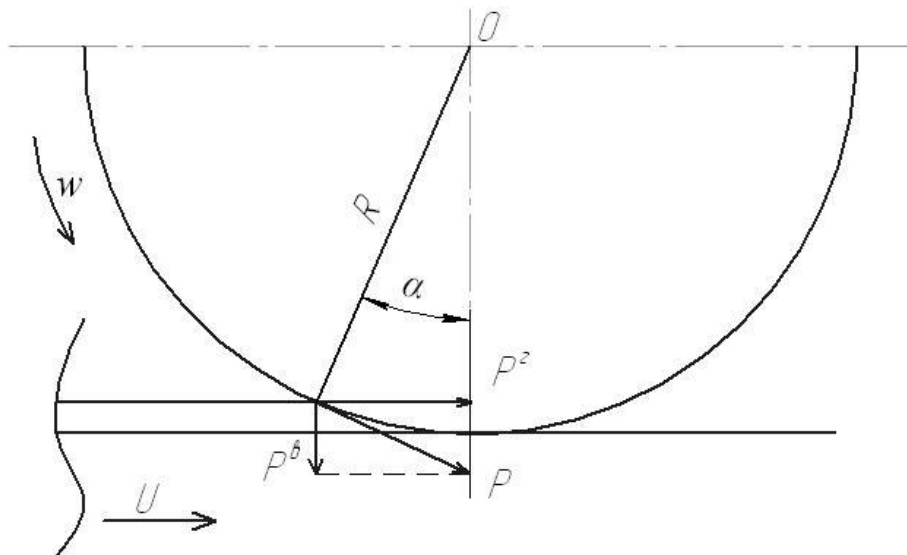


Рисунок 2.2 – Схема сил образующихся при попутной окорке

Разложим силу P на составляющие P_G и P_B (P_G – горизонтальная составляющая силы P , она определяет сопротивление перемещению конечного элемента; а P_B – вертикальная составляющая силы $-P$, она определяет заглубляющую способность звена и устойчивость хода по глубине):

$$P_G = P \cos(90^\circ - \alpha) = P \sin \alpha; \quad (2.14)$$

$$P_B = P \sin(90^\circ - \alpha) = P \cos \alpha; \quad (2.15)$$

При попутной окорке в начале взаимодействия с увеличением α , горизонтальная составляющая $-P_G$ уменьшается, а P_B - увеличивается. Иначе заглубляемость конечного звена улучшается, а горизонтальный ход и снятие коры происходит минимальное. Соответственно для удаления коры потребуется большая горизонтальная составляющая $-P_G$ силы P .

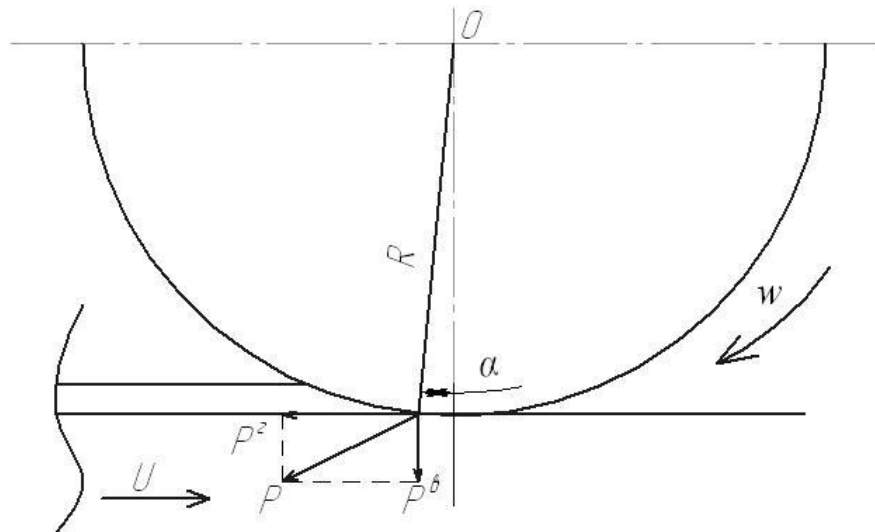


Рисунок 2.3 – Схема сил при встречной окорке

При встречном взаимодействии значение угла α будет близко к минимальной отметке. Соответственно горизонтальная составляющая $-P_G$ будет максимальна и далее по ходу с последующим уменьшением, а P_B - соответственно увеличивается.

Анализируя (2.14) и (2.15) для обоих случаев, можно установить, что снизить сопротивление окорке можно за счет уменьшения угла встречи α .

Однако уменьшение угла α изменит и взаимодействие, уменьшится шаг взаимодействия по коре, что также уменьшит скорость окорки и соответственно ее производительность.

Ранее рассмотренные формулы относятся к статике взаимодействия, поэтому рассмотрим вращательное движение цепа имеющего неподвижную ось вращения. За время dt , цеп повернется на элементарный угол $d\varphi$, это будет w . Из физики нам известно, что при взаимодействии цепа с корой

появится угловое ускорение $\frac{dw}{dt} = \varepsilon$, следовательно,

$$J \cdot \varepsilon = M \quad (2.16)$$

где: J – момент инерции относительно оси вращения: $J = m \cdot R^2$

Так определится момент силы (M) относительно оси вращения. Это уравнение (2.16) является основным законом движения цепа. Произведение момента инерции тела относительно оси вращения на его угловое ускорение равно моменту силы, действующее на цеп. Это закон вполне аналогичен второму закону Ньютона (2.13). Сопоставление уравнений (2.13) и (2.16) показывает, что роль силы при вращении цепа выполняет момент силы, а роль массы – момент инерции. Таким образом, выявляется мера инертности цепа. В случае поступательного движения такой мерой служит масса тела, а в случае вращательного движения такой величиной является момент инерции тела относительно оси вращения. Чем больше момент инерции цепа, тем труднее его привести его во вращение, подобно тому, что чем больше масса тела, тем труднее его разогнать. Момент инерции определяется не только массой цепа, но и ее распределением вокруг оси (по сути, он равен сумме произведений масс частей цепа на квадраты расстояний от них до оси вращения). Чем дальше звено цепа удалено от оси, тем больше момент инерции. Точно так же момент силы определяется не только силой, но и расстоянием от линии действия силы до оси: чем больше это расстояние, тем больше момент силы.

Рассмотрим деформации массива коры, происходящие в зоне контактирования. При попутной окорке удаление элемента коры первоначально происходит с радиальным сжатием по корковому и лубяному слою коры и конечным переходом к скалыванию по камбиальному слою. Характер идущих деформаций коры: первоначально идет смятие, прессование с превращением только периферийных участков в «гармошку» и затем идет скол, излом и отбрасывание.

При встречной окорке наблюдается несколько иное взаимодействие. Характер деформаций коры: первоначально идет продольное смятие и прессование коры в горизонтальной плоскости с последующим возникновением загиба слоя коры по всей зоне контакта и затем по мере увеличения длины загиба - излом и отбрасывание. Здесь большое значение в протекающих деформациях имеет продольное прессование, и скалывание по камбиальному слою, с последующим отрывом по ходу движения цепа.

Таким образом предпочтительной подачей представляется попутная, где первоначальная энергия цепа полностью уходит на деформирование коры и ей удаление, в отличие от встречной подачи, где трудно обеспечить точный заход цепа на величину толщины коры, без взаимодействия с уже обработанной поверхностью.

В настоящее время изучение процессов, происходящих при цеповой окорке древесины, производится путем рассмотрения возникающих при этом сил и их воздействие на обрабатываемый предмет [38]. Нам этот путь представляется очень сложным. Эти силы действуют очень малое время, определить которое практически не возможно, а следовательно и не возможно определить и величину этих динамических сил. Поэтому приходится ограничиваться общими теоретическими выкладками, а для получения практических рекомендаций проводить экспериментальные исследования. Мы предлагаем другой путь – исследовать не действующие силы, а затраты энергии, определить которые и аналитически и практически значительно проще [62].

2.4 Факторы, влияющие на энергозатраты (мощность) окорки

Окорка древесины – достаточно сложная технологическая операция, эффективная реализация которой, невозможна без учета всех влияющих на нее факторов. На основе анализа литературных источников выявлено, что на окорку оказывает влияние целый ряд факторов, относящихся как к параметрам рабочего органа, так и к обрабатываемым лесоматериалам. Отдельные из участвующих факторов одновременно оказывают существенное влияние на мощность окорки. К таким факторам относятся: число оборотов вращения (линейная скорость воздействия) и масса цепа, вид и скорость подачи (надвигания), порода, влажность, температура, толщина коры обрабатываемого лесоматериала. Чтобы правильно выбрать требуемый режим окорки с получением рациональной удельной мощности процесса, производительности, качества обработанной поверхности (степени окорки) и заложить их в конструкцию нового станка, необходимо знать, как влияют эти факторы на процесс окорки.

К управляемым факторам относятся те, которые возможно задавать и поддерживать нужное значение в течение всего эксперимента, для нашего случая это:

v - линейная скорость конечного звена ЦРО;

u - скорость подачи лесоматериала;

Ψ - вид подачи – попутная (O), встречная (B);

К контролируемым факторам отнесена мощность окорки - N .

К неуправляемым контролируемым факторам мы отнесли:

t - температуру коры лесоматериала;

W - влажность коры образцов;

h_k - толщину коры.

В соответствии с целью наших исследований необходимо получить математическую модель удельной работы окорки для описания исследуемого процесса в виде функциональной зависимости:

$$k = f(v, \nu, \Psi) \quad (2.17)$$

Рассмотрим подробнее некоторые основные факторы, влияющие на энергетические затраты при окорке.

Порода древесины. При окорке сырья различных пород на энергетику процесса существенное влияние оказывают строение коры и ее физико-механические свойства. По отношению к общему объему ствола у древесных пород нашей страны кора составляет от 6 до 25%. Содержание и строение коры зависит от породы, возраста, условий произрастания и расположения на стволе. Кора существенно отличается у различных пород деревьев. Для хвойных пород характерно волокнистое строение пробкового и лубяного слоев коры, причем расположение волокон коры совпадает с расположением волокон древесины. Для некоторых лиственных пород волокна пробкового слоя расположены перпендикулярно волокнам древесины. Вершинная часть дерева и молодые побеги имеют гладкую кору, основную часть которой составляют годовичные слои луба. С увеличением возраста кора утолщается, снаружи её появляются глубокие трещины, особенно заметные в комлевой части ствола. Кора в комлевой, срединной и вершинной части одной древесной породы значительно отличается по строению, влажности и плотности. Толщина коры находится в почти прямой зависимости от величины диаметра ствола. А у хвойных пород у комля толщина коры с увеличением диаметра резко возрастает. Поэтому фактор породы древесины коры должен учитываться при расчете мощности окорки.

Влажность и температурное состояние лесоматериала. При окорке древесины ЦРО энергия в различных взаимоотношениях тратится на деформирование коры, сдвиг и отрыв ее по камбиальному слою. В сумме эти сопротивления составляют результирующую мощность окорки.

Кора - трехслойный материал (корка, луб и камбий) и имеет сложное клеточное строение. Материал клеток по своим физическим и механическим свойствам различен. В летний период активности камбия кора содержит большое количество влаги. Максимальная влажность всегда устанавливается

в зоне камбия, и этим обуславливается его непрочность и легкость отделения при незначительном усилии от древесины. Чем выше влажность, тем легче разрушаются увлажненные клетки луба и камбия. Увеличение влажности коры ведет к уменьшению ее прочности и увеличению упругого восстановления волокон.

При высыхании во время хранения кора теряет влагу и вместе с этим претерпевает ряд существенных изменений. Полости клеток луба и камбия уменьшаются, и в результате этого резко увеличивается толщина стенок и сила сцепления друг с другом и смежными стенками клеток древесины. Естественно, что при этом сила сопротивления коры возрастает, и требуются дополнительные усилия и мощность на окорку [11]. При положительной температуре фактором, определяющим мощность окорки, является влажность. Силы сцепления коры с подсушенной древесиной в 4-5 раза больше, чем у свежесрубленного сырья со сроком хранения половина месяца.

Сопротивление окорке мерзлого сырья выше, чем немерзлого, при всех значениях влажности. Возрастание с понижением температуры прочности коры, силы ее сцепления с древесиной и сопротивляемости окорки обуславливают увеличение сил сопротивления при обработке мерзлой древесины независимо от способа, которым производится эта окорка. Сопротивление скалыванию коры по камбиальному слою становится соизмеримым с прочностью самой древесины. Таким образом, факторы влажности и температурного состояния предмета труда являются одними из главных, влияющих на мощность окорения.

Влияние подачи на энергетику цеповой окорки рассмотрено в пункте 2.6.

Скорость подачи значительно влияет на мощность окорки. Из теории резания известно, что при малой скорости подачи энергетика пиления возрастает. С увеличением скорости подачи удельная мощность процесса уменьшается до той поры, пока сам процесс не остановится или не произойдет конструктивная поломка. Это объясняется тем, что при малых

подачах происходит увеличение доли различных видов дополнительного трения взаимодействия рабочий орган-предмет труда. С увеличением подачи происходит уменьшение доли трения и увеличение доли более легко протекаемых процессов, в виде скалывания древесины и др.

Масса цепа влияет на мощность окорки. Очевидно, что увеличение ударных масс (массы звеньев цепов и их количества) приводит к увеличению потребляемой мощности. При вращении ЦРО возникает центробежная сила, выпрямляющая цеп в радиальном направлении. От величины центробежной силы напрямую зависит сила прижима конечного звена к обрабатываемому слою коры лесоматериала, а соответственно и к силе удара. В составляющую этой силы входит масса цепа. Значит чем больше масса цепа, тем устойчивее протекает процесс даже при минимальных частоте вращения, и радиусе рабочего органа. Возникающие ограничения по использованию массы цепа связаны лишь с конструктивной прочностью элементов окорочного станка.

Линейная скорость кругового движения конечного звена цепа – это скорость взаимодействия конечного звена с корой обрабатываемого лесоматериала. Она является самой главной характеристикой кинетической энергии механической системы «вал - ЦРО». Сила прижима и удара конечного звена цепа напрямую зависит от центробежной силы. Центробежная сила определяется как, mv^2/r , где m - масса цепа, v - её линейная скорость, r - радиус кривизны траектории, и направлена по главной нормали к траектории от центра кривизны (от центра окружности при движении цепа по окружности). В данной формуле линейная скорость цепа в квадрате и поэтому является более значимым фактором, влияющим, в конечном счете, на мощность окорки ЦРО.

При различных линейных скоростях конечного звена, на изменение мощности окорки оказывают определяющее влияние два фактора: образование упругих, пластических, остаточных деформаций, создание опережающих трещин в обрабатываемой коре; преодоление сил инерции стружки коры и их трения о конечное звено и о соседние элементы коры и

древесину. При скоростях 20-50 м/с решающее значение имеют силы, идущие на преодоление упругих и пластических деформаций и образование остаточных деформаций в коре обрабатываемой древесины. А при скоростях 60-120 м/с значительно увеличиваются силы инерции стружки коры и трения их о конечное звено и о соседние элементы коры и древесины. В результате усилия, идущие на преодоления сил трения и возросших сил инерции стружки, начинают превалировать над усилиями, идущими на преодоление указанных выше деформаций.

При увеличении скорости нагружения кора в зоне контакта с передней гранью звена сильно уплотняется и приобретает повышенные прочностные свойства, поэтому на окорку потребуются и большие усилия, а соответственно и мощность. Очевидно что, линейная скорость взаимодействия конечного звена с корой значительно влияет на энергетику процесса окорки ЦРО.

2.5 Энергозатраты цеповой окорки

Чтобы отделить элемент коры от массива, необходимо приложить к нему усилие, большее, чем силы молекулярного сцепления коры и камбиального слоя древесины. Силы молекулярного сцепления зависят от физико-механических свойств материала и поэтому могут быть различными. Работа внешних сил, затраченная на окорку материала и отнесенная к единице массы или объема, называется удельной работой окорки (Дж/м^3) и численно равна удельной силе окорки (Па), но с физической точки зрения это совершенно разные понятия с разной размерностью.

В основе динамического процесса цеповой окорки лежит механизм разрушения упруго-вязкопластического материала коры сжатием без заметного развития пластических деформаций. Скорости взаимодействия с предметом труда велики и могут достигать значений 100 м/с. При таких скоростях разрушение коры происходит, в основном, за счет кинетической

энергии концевых элементов цеповых рабочих органов. В таком случае определяющим параметром для оценки процесса окорки выступает работа окорки. Поскольку цеповая окорка древесины осуществляется главным образом за счет кинетической энергии, то к геометрической форме концевых элементов предъявляются менее жесткие технические требования.

В основу теории цеповой окорки положена функциональная зависимость между затраченной энергией и параметрами лесоматериала. При вращении вала с закрепленными на нем одним концом рядами цепов, возникает центробежная сила, которая вытягивает цепи по линии близкой к радиусу. За счет вращения цепи приобретают необходимую и достаточную жесткость и кинетическую энергию.

Кинетическая энергия конечного элемента при его вращении вокруг своей оси:

$$E_k = \frac{J \cdot \omega^2}{2}; \quad (2.18)$$

или

$$E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}. \quad (2.19)$$

где: m – масса тела (в данном случае конечного элемента);

За счет кинетической энергии происходит удаление коры, т.е. частичное отслаивание крупных элементов в результате удара, скалывание более мелких элементов от трения цепы по поверхности, а так же превращение в пыль части коры от совместного действия удара и трения. Выделить эти процессы и исследовать их по отдельности практически невозможно, поэтому мы рассматриваем общие затраты энергии на окорку.

Рассмотрим взаимодействие цепы с корой, сделав следующие допущения: лесоматериал движется в направлении, перпендикулярном оси приводного окорочного вала по опорным валам подачи прямолинейно, параллельно своей продольной оси без проскальзывания; цеп представлен в виде набора точечных масс звеньев с шарнирной связью между ними;

поверхность взаимодействия плоская; вращательное движение цепов равномерное; цепи, находящиеся в движении без взаимодействия с поверхностью, находятся в прямолинейной форме; толщина коры постоянная; дефекты коры и древесины отсутствуют.

Составим расчетную схему продольного взаимодействия цепи с поверхностью обрабатываемого объекта (рисунок 2.4). Для упрощения представим цепь как набор точечных масс m , соединенных между собой с шагом t невесомыми нитями и вращающимся с угловой скоростью ω . Расстояние от центра звена до оси вращения - R_1 ; расстояние от центра следующего звена до оси вращения - R_2 и т.д.; $R_1 - R_2 = t$; h - расстояние от центра вала до обрабатываемой поверхности.

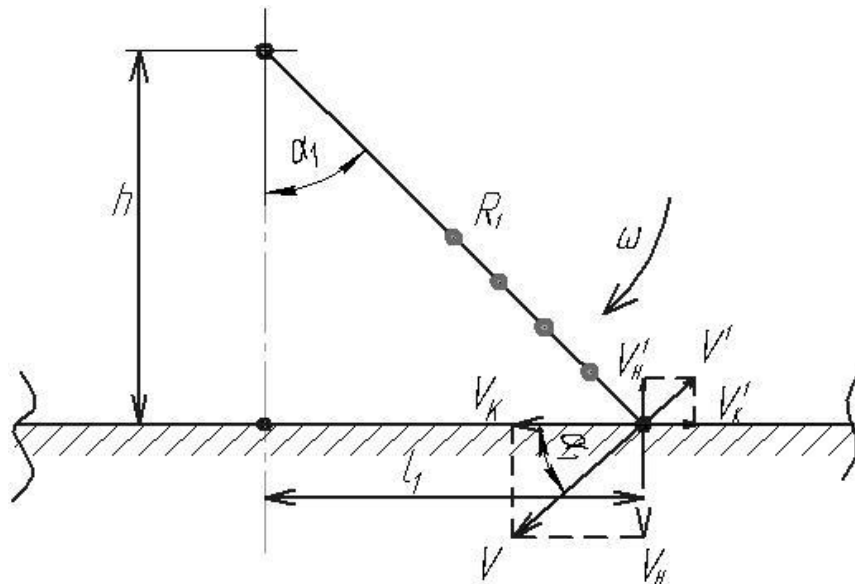


Рисунок 2.4 – Момент касания поверхности первым звеном

Сначала рассмотрим случай, когда обрабатываемая поверхность неподвижна, т.е. движения подачи нет. Процесс протекает следующим образом. Цеп, вращаясь с угловой скоростью ω , подходит к обрабатываемой поверхности, и первое звено касается её с линейной скоростью V . Происходит косой удар под углом α_1 к поверхности. Если бы масса первого звена m не находилась под действием центробежной силы и звено не было бы связано с остальными звеньями, то, согласно теории удара, произошел бы

обыкновенный отскок (рикошет). Угол отскока не равен углу падения и определяется величиной коэффициента мгновенного трения, который зависит от состояния шерховатости поверхности и находится экспериментальным путем. При абсолютно гладкой поверхности угол отражения равен углу падения, а при шерховатой – меньше.

В нашем случае этого не произойдет, и отскок будет по закону маятника, т.е. в обратном направлении по дуге качания. Конечно, при малых значениях угла α_1 не исключен и первый вариант, но, в принципе, нас это не особенно интересует. Вопрос очень сложный и требует специального исследования. Главное, что в том и другом случае произойдет отскок массы после удара. Скорость его V^1 будет равна произведению линейной скорости в момент касания с поверхностью V на коэффициент упругого восстановления - k_6 . Нормальные (V_H и V_H^1) и касательные (V_K и V_K^1) составляющие этих скоростей направлены в противоположные стороны.

Кинетическая энергия удара массы m со скоростью V_H в нормальном направлении равна

$$E_y^H = \frac{m \cdot V_H^2}{2} = \frac{m \cdot V^2 \sin^2 \alpha_1}{2}. \quad (2.20)$$

Энергия упругого восстановления

$$E_6^H = \frac{m \cdot (V_H^1)^2}{2} = \frac{m \cdot V^2 \cdot k_6^2 \sin^2 \alpha_1}{2}. \quad (2.21)$$

Соответственно энергия разрушения поверхности первым звеном

$$E_1^p = E_y^H - E_6^H = \frac{m \cdot V^2 \sin^2 \alpha_1}{2} - \frac{m \cdot V^2 k_6^2 \sin^2 \alpha_1}{2} = \frac{m \cdot V^2 \sin^2 \alpha_1}{2} \cdot (1 - k_6^2). \quad (2.22)$$

Эта энергия полностью пойдет на деформирование коры в нормальном направлении, т.е. на сжатие её поперек волокон.

Рассмотрим момент касания второго звена (рисунок 2.5).

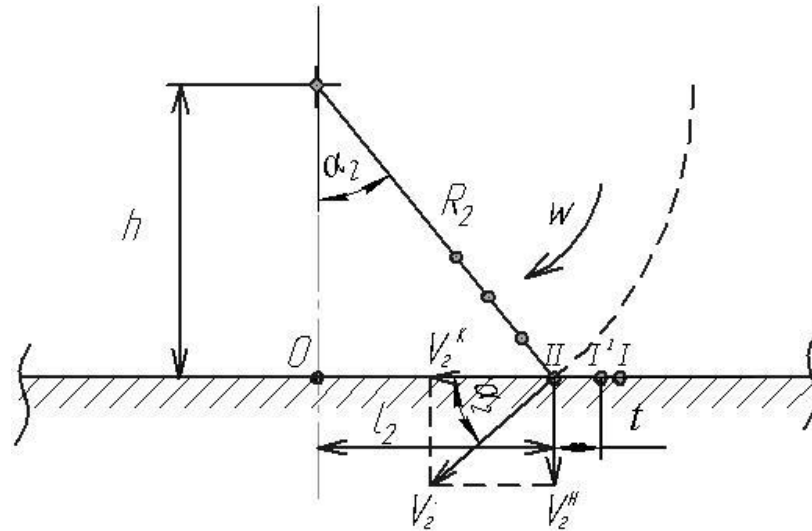


Рисунок 2.5 – Момент касания второго звена.

Точка контакта первого звена с поверхностью (I) находится на расстоянии $l_1 = R_1 \sin \alpha_1$ от вертикали, проходящей через центр вала. Аналогично, точка касания второго звена (II) будет находиться на расстоянии $l_2 = R_2 \sin \alpha_2$. Масса первого звена за этот промежуток времени переместится по поверхности объекта из точки (I) в точку (I') на расстояние $l_1 - l_2 - t$ (т.е. $R_1 \sin \alpha_1 - R_2 \sin \alpha_2 - t$), совершая работу трения.

Кинетическая энергия разрушения вторым звеном будет:

$$E_2^p = \frac{m}{2} (\omega R_2 \sin \alpha_2)^2 (1 - k_s^2)$$

или

$$E_2^p = \frac{m \cdot V_2^2 \sin^2 \alpha_2}{2} \cdot (1 - k_s^2) \quad (2.23)$$

Эта величина меньше, чем E_1^p , так как $R_2 < R_1$ и $\alpha_2 < \alpha_1$.

Рассуждая аналогичным образом, приходим к выводу, что за один оборот вала цепи будет нанесен ряд ударов уменьшающейся силы от максимума в точке (I) до нуля в точке под осью вала. Общая энергия разрушения в нормальном направлении:

$$E_H^P = \frac{m\omega^2}{2} (1 - k_6^2) Z \sum_{i=1}^{i=n_3} (R_i \cdot \sin \alpha_i)^2$$

ИЛИ

$$E_H^P = \frac{m}{2} (1 - k_6^2) Z \sum_{i=1}^{i=n_3} (V_i \cdot \sin \alpha_i)^2, \quad (2.24)$$

где n_3 – количество звеньев, участвующих в контакте (в целых числах).

$$n_3 = \frac{R_i - h}{t} \quad (2.25)$$

Расстояние между точками ударов также уменьшается. Если $l_1^2 = R_1^2 - h^2$ а $l_2^2 = (R_1 - t^2) - h^2$, то $l_1^2 - l_2^2 = 2Rt - t^2$ (выкладки опускаем). $l_2^2 - l_3^2 = 2Rt - 3t^2$; $l_3^2 - l_4^2 = 2Rt - 5t^2$ и так далее.

Касательная составляющая линейной скорости первого звена в точке (I) $V_K = \omega R_1 \cdot \cos \alpha_1$, а в точке O, находящейся под осью вращения $V_K^0 = \omega h$. Если учесть, что $h = R_1 \cdot \cos \alpha_1$, то получится, что эти скорости равны. Отсюда следует вывод, что все звенья цепи, вступающие в контакт с обрабатываемой поверхностью, двигаются по ней с одинаковой скоростью V_K равной ωh .

В отсутствии скорости надвигания при следующем обороте звенья цепи ударят по тем же самым местам. При наличии скорости подачи (надвигания) U удар будет происходить с некоторым сдвигом, шагом удара e относительно предыдущих точек. Величину этого шага можно определить из основного кинематического соотношения

$$\frac{U}{V_K} = \frac{e \cdot Z}{2\pi R}, \quad (2.26)$$

Откуда

$$e = \frac{2\pi R \cdot U}{Z \cdot V_K}, \quad (2.27)$$

Разрушение коры от ударов звеньев цепи в нормальном направлении будет происходить только в первой половине общей зоны контакта от точки (I) до точки O (рисунок 2.5).

Вернемся к рисунку 2.4. Составляющая линейной скорости V_K дает энергию разрушения в касательной плоскости первым звеном

$$E_K^p = \frac{m \cdot V^2 \cos^2 \alpha_1}{2} \cdot (1 - k_s^2). \quad (2.28)$$

Если энергия в нормальном направлении полностью поглотится деформацией коры (вплоть до прессования), то энергия в касательном направлении будет востребована лишь частично. Она затратится на скалывание вдоль волокон, перемещение массы m по поверхности (контакт массы с поверхностью может и не потеряться за счет прижима центробежной силой, а если и потеряется, то через несколько мгновений после отскока восстановится, и цеп будет перемещаться по поверхности (волочиться)), истирание не сколотых остатков коры и т.п. Все эти составляющие значительно меньше деформативной. Наиболее существенное из них – перемещение (волочение) цепы по поверхности обработки.

Сила трения при перемещении звена массой m равна $mg\mu$, где μ – коэффициент трения металла звена по древесине или коре. Энергия на горизонтальное перемещение первого звена равна $mg\mu \cdot 2l_1$, второго звена – $mg\mu \cdot 2l_2$ и так далее. Общая энергия на перемещение цепы по обрабатываемой поверхности за один оборот вала.

$$E^{\Pi} = 2mg\mu n_s \sum_{i=1}^{i=n} l_i \cdot Z \quad (2.29)$$

По абсолютной величине эта энергия значительно меньше, чем E^p . Остаток энергии в касательном направлении, очевидно, будет тратиться на движение цепы и к процессу, непосредственно, окорки никакого отношения иметь не будет.

Общая энергия, создаваемая первым звеном, определится как сумма (2.22) и (2.28):

$$E_p = \frac{m \cdot V^2 (1 - k_s^2)}{2}. \quad (2.30)$$

Рассматривая последовательно работу звеньев в касательной плоскости и суммируя её с энергией в нормальной плоскости, приходим к выводу, что общая энергия разрушения, которую способен отдать цеп за один оборот:

$$E^o = \frac{m(1-k_e^2)Z}{2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i^2. \quad (2.31)$$

Эту зависимость можно выразить в ином виде:

$$E^o = \frac{mw^2(1-k_e^2)Z}{2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} R_i^2. \quad (2.32)$$

В зависимости от кинематических параметров процесса взаимодействия, энергия цепи может быть как недостаточная, достаточная и излишняя для качественной окорки. Всё зависит от конкретных условий: угловой скорости, скорости надвигания, массы рабочей части цепи, толщины коры, её физико-механических свойств и т.п. Идеальный случай, это когда создаваемой цепом энергии как раз хватит для 100% окорки. Решить такой случай можно было бы аппаратом оптимизации, но для этого нужно знать свойства коры не только на сдвиг или скалывание вдоль волокон (что более или менее изучено), а и на смятие поперек волокон и удар – (что совершенно не изучено).

Поэтому попробуем ориентировочно предсказать основные закономерности. Выдвинем условие, что за один проход цеп полностью производит окорку без лишних затрат энергии. Тогда удельная работа окорки k выразится как общая энергия разрушения цепом отнесенная к объему снятой коры G (Дж/м³). За один оборот этот объем равен

$$G = e \cdot F \cdot Z, \quad (2.33)$$

где: F – площадь поперечного сечения снимаемой ленты коры.

Из кинематического соотношения $e = \frac{2\pi R_1 U}{V_K \cdot Z}$. В этой формуле берется V_K ,

а не V потому, что оно совпадает с U по направлению. Удельная работа окорки

$$k = \frac{E}{e \cdot F \cdot Z} = \frac{E V_K}{2\pi R_1 U F}. \quad (2.34)$$

Итак, с учетом ранее сказанного, непосредственно на окорку затрачивается работа (2.24) и (2.29) [62, 66, 70]. Удельная работа окорки

$$k = \frac{mZ(1-k_e^2)V_K}{4\pi R_1 UF} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i^2 \sin^2 \alpha_i + \frac{2mg\mu n Z V_K}{2\pi R_1 UF} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} l_i,$$

или

$$k = \frac{mZV_K}{\pi R_1 UF} \cdot \left[\frac{1-k_e^2}{4} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i^2 \sin^2 \alpha_i + g\mu n \cdot \sum_{i=1}^{i=n} l_i \right]. \quad (2.35)$$

Из этой формулы видно, что удельная работа окорки в общем виде имеет характер кривой кубической зависимости от линейной скорости цепи (рисунок 2.6), а от скорости подачи – обратную (рисунок 2.7).



Рисунок 2.6 – Зависимость удельной работы окорки от линейной скорости цепи



Рисунок 2.7 – Зависимость удельной работы окорки от скорости подачи

При встречном контактировании разрушенная кора силой P^r как бы впрессовывается в еще не разрушенный массив, увеличивая тем самым общие затраты энергии на совершение процесса окорки (рисунок 2.8).

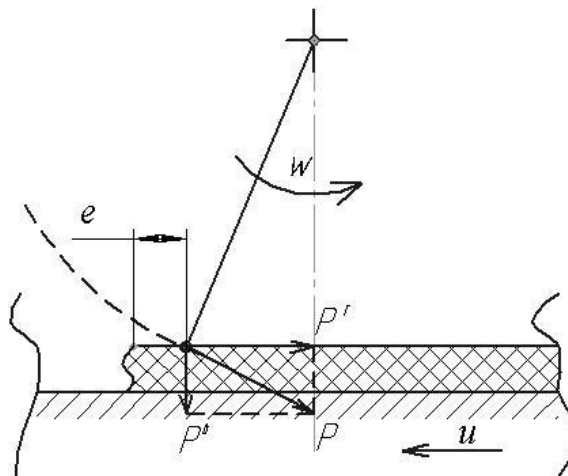


Рисунок 2.8 – Встречное контактирование

При попутной окорке первое взаимодействие приходится на элемент массива коры, который отрывается и удаляется. Древесина в этом случае находится в шадящем положении, и ее деформация может быть сведена к минимуму. С точки зрения энергетики процесса, затраты на подачу и

движения окорочного вала складываются, что уменьшает общую мощность окорки.

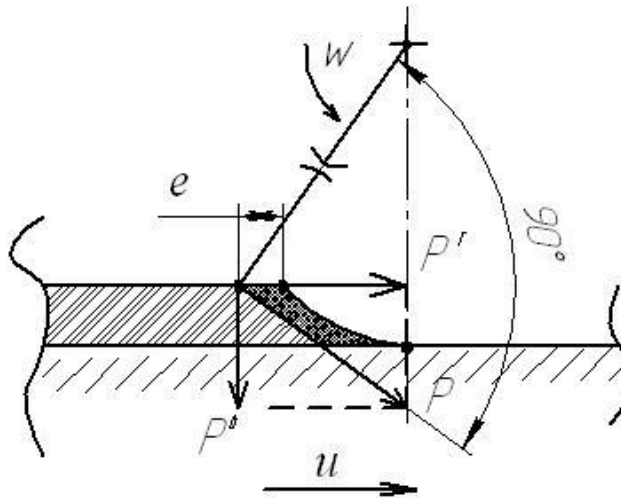


Рисунок 2.9 – Попутное контактирование

При встречной подаче рабочий орган надвигается соответственно в противоход движению подачи ствола лесоматериала. Возникает необходимость более жесткого сцепления органов подачи с лесоматериалом и дополнительной мощности подачи. Также необходима более точная настройка контактов взаимодействия на величину толщину коры, что затруднительно, иначе первоначальный удар приходится по древесине уже окоренной поверхности, деформируя последнюю. Соответственно данный способ требует более точного, сложного управления параметрами окорочного рабочего органа и более энергоемок.

2.6 Расчет мощности цеповой окорки

Затраты мощности на выполнение технологической операции цепового окорочного станка могут быть представлены в виде суммы затрат по всем его элементам

$$N = N_o + N_{mp} + N_n, \quad (2.36)$$

где N_o – затраты мощности на процесс окорки ЦРО, Вт;

$N_{тр}$ – на преодоление трения трансмиссии привода станка; Вт.

N_n – для подачи обрабатываемого бревна, Вт.

Мощность, затрачиваемая на окорку, определяется через сумму работ всех цепов окорочного вала:

$$N_o = A \cdot n_g \cdot w, \quad (2.37)$$

где: A - работа одного конечного элемента, Дж;

n_g - число цепов на валу.

Для определения энергии рассмотрим цеповую окорку как процесс, состоящий из последовательно происходящих явлений разрушения участка коры с последующим удалением разрушенных её элементов из зоны взаимодействия, исходя из чего, энергию одного цепа на окорке можно представить в виде

$$E = E^o + E^II + E_{ОТБР}, \quad (2.38)$$

где E^o – затраты общей энергии на разрушение участка коры (корка и луб) цепом за один оборот вала, Дж;

E^II – затраты энергии на перемещение цепа по обрабатываемой поверхности за один оборот вала, Дж;

$E_{ОТБР}$ – затраты энергии на отбрасывание элементов коры, Дж.

Энергия на разрушение участка коры будет равна соответствующей кинетической энергии и в общем виде определится по формуле 2.30 или 2.31.

Энергия на перемещение цепа по обрабатываемой поверхности рассчитывается по формуле 2.28.

Энергия, сообщаемая отбрасываемым элементам коры (частицы корки и луба) определяется

$$E_{ОТБР} = N_{отб} \cdot T, \quad (2.39)$$

Затраты мощности на отбрасывание элементов коры

$$N_{отбр} = k_{отбр} \cdot V_K^C, \quad (2.40)$$

где $k_{отбр}$ – затраты удельной работы на сообщение кинетической энергии отбрасываемым элементам коры, Дж/м³;

V_K^C – секундный объем отбрасываемых элементов коры одним цепом, м³/с.

Затраты мощности на преодоление трения в трансмиссии привода цепового рабочего органа окорочного вала $N_{тр}$, Вт, определяются

$$N_{mp} = \frac{E}{t} \cdot (1 - \eta_{ЦРО}), \quad (2.41)$$

где $\eta_{ЦРО}$ – КПД трансмиссии привода ЦРО

Окорочные станки с окоркой во вращающемся цеповом поле целесообразно оснащать подающими механизмами непрерывного действия, которые должны выполнять функции перемещения лесоматериалов к окорочным органам, перемещения лесоматериалов в течение периода окорки, удержание его от биения. Поскольку цепное рабочее поле не предъявляет специфических требований к положению обрабатываемого материала в пространстве и не требует высокой точности положения сортимента (как, например, роторные станки) то возможно применение достаточно простого вальцового подающего механизма.

На примере вальцовых механизмов подачи затраты мощности, требуемой для подачи обрабатываемого бревна в станок равны

$$N_n = \frac{T_{II} \cdot U}{1000 \cdot \eta}, \quad (2.42)$$

где T_{II} – потребное усилие протаскивания бревна, Н;

Потребное усилие протаскивания составляется из следующих сил сопротивления

$$T_{II} = m_{л} g \mu_{сд} \pm P_x, \quad (2.43)$$

где $m_{л}$ – масса лесоматериала, кг;

$\mu_{сд}$ – коэффициент сопротивления движению лесоматериала;

P_x – проекция силы окорки на ось, совпадающей с направлением подачи,
Н.

$$m_n = V_K \cdot \rho, \quad (2.44)$$

где ρ – плотность древесины, кг/м³;

V_K - объем окоряемого лесоматериала, м³.

Энергоемкость технологического процесса по цеповой окорке определяется как

$$\sum E = \frac{N}{V_K}, \quad (2.45)$$

2.7 Взаимодействие конечного элемента цепа с сортиментом в поперечном сечении

Взаимодействие конечного элемента ЦРО с горбыльной доской в поперечном сечении подробно рассматривалось в работе [38], поэтому далее рассмотрим только контактирование с сортиментом. Для определения качества обработки боковой поверхности древесины необходимо знать значения площадей этой поверхности до и после окорки.

При дальнейшем изложении приняты следующие допущения: пространственная форма ствола рассматривается как усеченный конус; формы поперечных сечений рассматриваются как окружности (рисунок 2.10).

Площадь коры в поперечном сечении будет в форме кольца и определяется, как разность площадей круга с корой и без коры в вершинной части радиусом r_k и r .

$$S_K = \pi(r_k^2 - r^2)$$

Площадь боковой поверхности усеченного конуса:

$$S_{бок.} = \pi \cdot C \cdot (R_k + r_k);$$

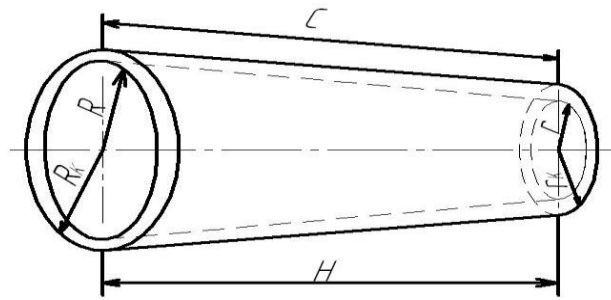


Рисунок 2.10 – Схема к расчету определения площади коры на поверхности ствола: R – радиус комлевой окружности древесины, R_k – радиус комлевой окружности с корой, r – радиус вершинной окружности древесины, r_k – радиус вершинной окружности с корой, H – длина, C – длина образующей.

Объем его равен:

$$V = (R_k + r_k + R \cdot r) \cdot \frac{\pi \cdot H}{3};$$

Тогда объем коры найдется как разница объемов конуса с корой и конуса без коры:

$$V_k = (R_2^2 + r_2^2 + R_2 \cdot r_2) \cdot \frac{\pi \cdot H}{3} - (R_1^2 + r_1^2 + R_1 \cdot r_1) \cdot \frac{\pi \cdot H}{3}; \quad (2.46)$$

Для поиска удаляемого объема коры со ствола определим площадь зацепления единичного конечного элемента ЦРО в зависимости от толщины коры и радиуса цепа (рисунок 2.11).

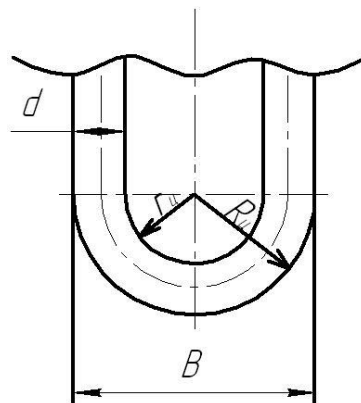


Рисунок 2.11 - Схема для определения рабочей площади конечного цепа

$$S_{\text{ц}} = 2R_{\text{ц}}(h_{\text{к}} - R_{\text{ц}}) + \frac{\pi \cdot R_{\text{ц}}^2}{2}; \quad (2.47)$$

Для дальнейших расчетов рассмотрим расположение ряда конечных элементов рабочих органов на поверхности ствола в поперечном сечении в двухмерной системе координат (рисунок 2.12). Взаимодействие с бревном – в верхней полуплоскости, в нашем случае на поверхности сверху разместится ряд конечных элементов ЦРО по дуге, в соответствующих условных секторах А,В,С,Д. Рассматриваемый процесс контакта в секторах А и Д, а также В и С будет аналогичным, в виду симметричности расположения. Заметно, что площади остающейся коры значительны.

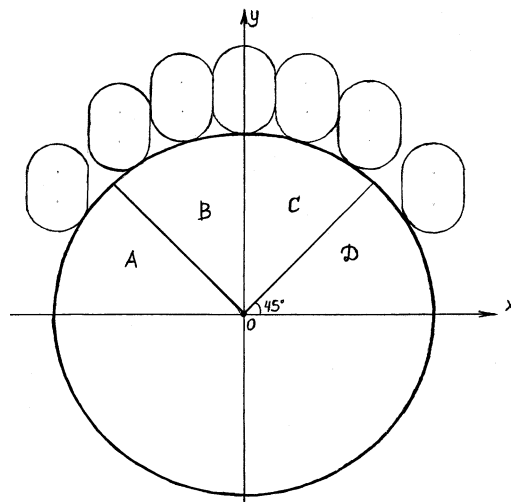


Рисунок 2.12 - Расположение конечных элементов ЦРО органов на поверхности лесоматериала в поперечном сечении (точки взаимодействия по дуге контакта)

Для их уменьшения, предлагаем второй ряд заходящих на взаимодействие цепов сместить на величину радиуса цепи в горизонтальной плоскости, т.е. расположить их в шахматном порядке на обрабатываемой поверхности. Тем будет достигаться максимальное возможное удаление остающихся площадей коры при минимальном количестве взаимодействий на одном участке поверхности (рисунок 2.13). На рисунке заметно, что на поверхности контакта имеется максимальная концентрация точек соприкосновения в секторах - В и С (эффективная зона окорки). Граница

этой зоны располагается под углом близким к 45° с соседними секторами А и Д. На этих секторах видно увеличение расстояния между соседними точками контакта и соответственно увеличение незадействованных площадей коры. Поэтому на данных участках ствола будет протекать наименее эффективная окорка (зона частичной окорки). Поэтому можно предположить, что окорку необходимо производить лишь в местах эффективной окорки, т.е. с четырех перпендикулярных сторон поверхности бревна.

Для нахождения площадей коры на окоренной поверхности бревна, не попадающих в зацепление конечными элементами ЦРО и ухудшающих чистоту окоренной поверхности, необходимо прибегнуть к математическому описанию взаимодействия. Потребуется составить уравнения для нахождения точек пересечения бревна, коры и конечных элементов ЦРО. Рассмотрим с допущением, что поперечное сечение бревна и конечного элемента подобны вписанным окружностям.

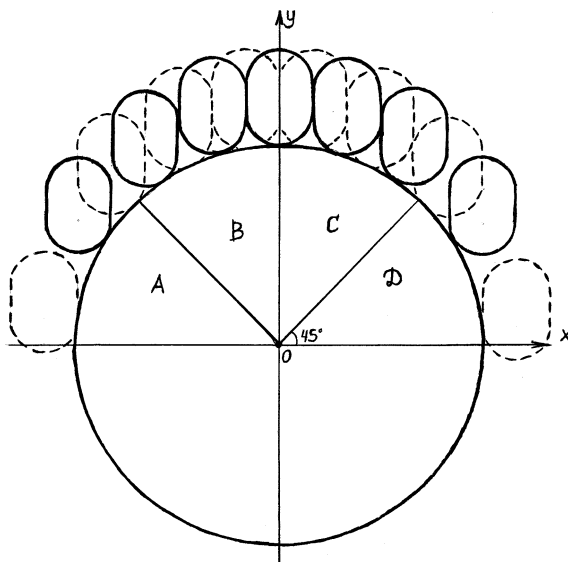


Рисунок 2.13 – Расположение двух рядов конечных элементов гибких рабочих органов на поверхности круглого лесоматериала в поперечном сечении с учетом более полного захвата участка коры

Уравнение линии границы бревна с корой, запишется:

$$X_1^2 + Y_1^2 = (R_1 + h)^2; \quad (2.48)$$

где: X , Y - координатные точки окружности;

R_1 - радиус окружности бревна без коры;

h - толщина коры.

Тогда, уравнение окружности звена цепа:

$$(X)^2 + (Y^2 - (R + r))^2 = r^2; \quad (2.49)$$

где: X , Y - координатные точки окружности;

R - радиус окружности бревна с корой;

r - радиус окружности звена цепа.

Разместим окружность в декартовой координатной плоскости, где центром будем считать геометрический центр бревна, и рассмотрим первую четверть координатной плоскости (рисунок 2.14).

Уравнение окружности бревна без коры:

$$f(x) = \sqrt{R^2 - x^2};$$

Уравнение окружности бревна с корой:

$$F(x) = \sqrt{(R + h)^2 - x^2};$$

Для удобства и упрощения проводимых расчетов размещаем первый цеп на бревне таким образом, чтобы ее геометрический центр находился на оси ОУ (рисунок 2.14).

Тогда уравнение вписанной окружности первого цепа первого ряда:

$$Ц_{1,1}(x) = \sqrt{(R + r)^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x^2};$$

где: r – радиус закругления конечного звена цепа, мм.

Далее соответственно, уравнение окружности второго цепа первого ряда:

$$Ц_{2,1}(x) = \sqrt{(R + r)^2 - 4r^2} - \sqrt{r^2 - (x^2 - 2r)^2};$$

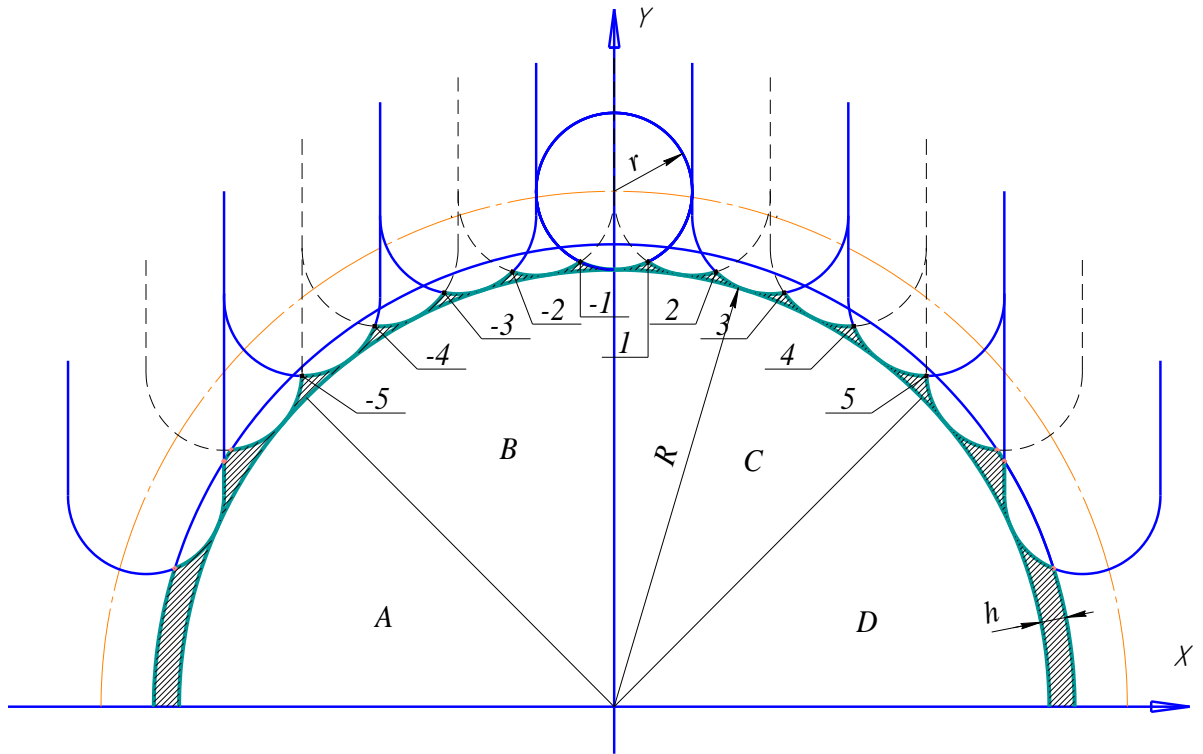


Рисунок 2.14 – Схема к расчету площадей оставшейся коры на поверхности бревна

И далее уравнения окружностей цепей вычисляются по следующему правилу:

$$Ц_{i,1}(x) = \sqrt{(R+r)^2 - (2 \cdot (i-1))^2} - \sqrt{r^2 - (x^2 - 2 \cdot (i-1) \cdot r)^2};$$

где: i – порядковый номер цепи.

Запишем уравнения окружностей цепей второго ряда.

Уравнение первой окружности цепи второго ряда:

$$Ц_{1,2}(x) = \sqrt{(R+r)^2 - r^2} - \sqrt{r^2 - (x-r)^2};$$

Уравнение второй окружности цепи второго ряда:

$$Ц_{2,2}(x) = \sqrt{(R+r)^2 - 9r^2} - \sqrt{r^2 - (x-3r)^2};$$

И далее уравнения окружностей цепей второго ряда вычисляются по следующему правилу:

$$Ц_{i,2}(x) = \sqrt{(R+r)^2 - (2 \cdot i - 1)^2} - \sqrt{r^2 - (x^2 - (2 \cdot i - 1) \cdot r)^2}; \quad (2.50)$$

Для нахождения суммы площадей не окоренной поверхности бревна, необходимо найти величину каждой такой поверхности. При нахождении

площади неокоренных участков воспользуемся известными из математического анализа правилами нахождения площади криволинейной трапеции, т.е. при вычислениях воспользуемся интегралами. Из рисунка 2.12 видно, что для нахождения неокоренной поверхности бревна требуется найти точки пересечения окружностей цепов: первого цепа первого ряда с первым цепом второго ряда (точка 1), первой второго ряда со второй первого ряда (точка 2) и т.д. в данной последовательности.

Находим точку пересечения окружностей первого цепа первого ряда с первым цепом второго ряда (точка 1), для этого рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} (\sqrt{(R+r)^2 - r^2} - y)^2 + (r-x)^2 = r^2 \\ (\sqrt{(R+r)^2} - y)^2 + x^2 = r^2 \end{cases}$$

Решением данной системы будут являться две пары значений: причем возьмем те значения которые нас удовлетворяют, а это – X_1 и Y . В дальнейшем потребуется только значение – X_1 .

Вычислим площадь коры, которая осталась на бревне:

$$S_1 = \int_0^{x_1} (\sqrt{(R+r)^2} - \sqrt{r^2 - x^2}) dx - \int_0^{x_1} (\sqrt{R^2 - x^2}) dx;$$

Находим точку пересечения окружностей первого цепа второго ряда с вторым цепом первого ряда (точку 2), для этого рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} (\sqrt{(R+r)^2 - r^2} - y)^2 + (r-x)^2 = r^2 \\ (\sqrt{(R+r)^2 - 4 \cdot r^2} - y)^2 + (2 \cdot r - x)^2 = r^2 \end{cases}$$

Решением данной системы будут являться две пары значений: При чем возьмем те значения которые нас удовлетворяют, а это – X_2 и Y . В дальнейшем потребуется только значение – X_2 .

Вычислим площадь коры, которая осталась на бревне:

$$S_2 = \int_{x_1}^{x_2} (\sqrt{(R+r)^2 - r^2} - \sqrt{r^2 - (x-r)^2}) dx - \int_{x_1}^{x_2} (\sqrt{R^2 - x^2}) dx;$$

Находим точку пересечения окружностей второго цепа второго ряда, с вторым цепом первого ряда (точку 3), для этого рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} (\sqrt{(R+r)^2 - r^2} - y)^2 + (r-x)^2 = r^2 \\ \sqrt{(R+r)^2 - 4 \cdot r^2} - y)^2 + (2 \cdot r - x)^2 = r^2 \end{cases}$$

Решением данной системы будут являться две пары значений: возьмем те значения которые нас удовлетворяют, а это – X3 и Y. В дальнейшем потребуется только значение – X3.

Вычислим площадь коры, которая осталась на бревне по зависимости:

$$S_3 = \int_{x_2}^{x_3} (\sqrt{(R+r)^2 - 4 \cdot r^2} - \sqrt{r^2 - (x - 2 \cdot r)^2}) dx - \int_{x_2}^{x_3} (\sqrt{R^2 - x^2}) dx;$$

Далее находим точку пересечения окружностей второго цепа, второго ряда с третьим цепом первого ряда (точку 4), для этого рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} (\sqrt{(R+r)^2 - r^2} - y)^2 + (r-x)^2 = r^2 \\ (\sqrt{(R+r)^2 - 4 \cdot r^2} - y)^2 + (2 \cdot r - x)^2 = r^2 \end{cases} \quad (2.51)$$

Решением данной системы будут являться две пары значений: При чем возьмем те значения которые нас удовлетворяют, а это – X4 и Y. В дальнейшем потребуется только значение – X4.

Вычислим площадь коры, которая осталась на бревне:

$$S_4 = \int_{x_3}^{x_4} (\sqrt{(R+r)^2 - 9 \cdot r^2} - \sqrt{r^2 - (x - 3 \cdot r)^2}) dx - \int_{x_3}^{x_4} (\sqrt{R^2 - x^2}) dx;$$

Аналогичным образом найдем площади коры остающейся вне зон взаимодействия во второй части сектора максимальной эффективности окорки.

В итоге останется недоокоренной площадь коры на рассматриваемом участке, равная:

$$S_\gamma = \sum S_i;$$

где: $S_i - i^{\text{я}}$ площадь участков коры остающихся после окорки

$$L = \frac{\pi \cdot R}{2};$$

В вершинной части, соответственно:

$$l = \frac{\pi \cdot r}{2};$$

Найдем, сколько всего полос коры разместится на сегменте круглого лесоматериала, в комлевой части.

$$n_{\text{комл}} = \left(\left[\frac{0,5 \cdot L - r_{\text{ц}}}{d_{\text{ц}}} \right] + 1 \right) \cdot 2; \quad (2.52)$$

Где: $n_{\text{комл}}$ – количество полос коры в комлевой части.

$r_{\text{ц}}$ – радиус конечного звена цепи.

$d_{\text{ц}}$ – диаметр конечного звена цепи.

[] - знак округления к минимальному целому значению.

Количество полных полос коры в вершинной части:

$$n_{\text{верх}} = \left(\left[\frac{0,5 \cdot l - r_{\text{ц}}}{d_{\text{ц}}} \right] + 1 \right) \cdot 2; \quad (2.53)$$

Количество полос коры, равных длине лесоматериала в 4-х зонах эффективной окорки:

$$n_{\text{полн}} = n_{\text{верх}} \cdot 4; \quad (2.54)$$

Где: $n_{\text{полн}}$ – количество полных полос коры.

Количество неполных полос коры:

$$n_{\text{неполн}} = (n_{\text{комл}} - n_{\text{верх}}) \cdot 4; \quad (2.55)$$

Где: $n_{\text{неполн}}$ – количество неполных полос коры на бревне.

Для нахождения длин неполных полос коры на поверхности лесоматериала рассмотрим треугольник АВ'Д, (рисунок 2.13). Необходимо найти длину отрезка В'Д. Его верхний угол – α' геометрически подобный углу - α , в треугольнике АВС, находим его как:

$$\alpha = \arctg \cdot \left(\frac{L-l}{H} \right);$$

Из треугольника АВ'Д находим искомый катет - В'Д или - z_1 .

$$z_1 = \frac{(L-l-d_u \cdot (1-a)) \cdot H}{L-l};$$

В общем виде, формула запишется:

$$z_i = \frac{\left(\frac{\pi \cdot R}{2} - \frac{\pi \cdot r}{2} - d_u \cdot (i-a)\right) \cdot H}{\frac{\pi \cdot R}{2} - \frac{\pi \cdot r}{2}} = \frac{\left[\frac{\pi}{2}(L-l) - d_u \cdot (i-a)\right] \cdot H}{\frac{\pi}{2} \cdot (L-l)}; \quad (2.56)$$

где: i – порядковый номер искомых катетов, считая на убывание.

z - длина неполных полос коры.

a – поправочный коэффициент.

$$a = \frac{l-r_u}{d_u} - \left[\frac{l-r_u}{d_u} \right];$$

Далее найдем сумму длин всех полос коры остающихся на поверхности круглого лесоматериала:

$$M = H \cdot n_{полн} + \sum z_i; \quad (2.57)$$

Найдем объем всей остающейся коры на поверхности круглого лесоматериала:

$$V_{ост.коры} = M \cdot S_{ост.кора}; \quad (2.58)$$

Определим процентное соотношение объема остающейся коры на поверхности бревна, к объему до окорки:

$$K_{коры} = \frac{100 \cdot V_{ост.коры}}{V_k}; \quad (2.59)$$

Далее воспользовавшись формулой (1.1) можно подсчитать качество окорки и степень окорки в зависимости от засоренности щепы корой, формула (1.2).

Задача об анализе схемы продольного взаимодействия цепа с окоряемой поверхностью, нами не ставилась, так как она достаточно подробно рассмотрена в работе [39].

Минимальное количество цепов в одном ряду приводного вала [59]:

$$N_u = \left[\frac{(R+r)-1}{2} \right] \cdot 2 + 1; \quad (2.60)$$

где: R - радиус окружности бревна с корой;

r - радиус окружности цепи;

$[]$ - знак округления к минимальному целому значению

2.8 Конструктивные схемы цепового окорочного оборудования

2.8.1 Схема станка для обработки горбыля

Для очистки горбыля от коры предлагается конструкция ударной цеповой окорочной установки на базе тарного станка ЦА–2 для промышленного применения (рисунок 2.16). Усовершенствование ЦА–2 выразилось в следующем. Для регулировки шага удара ЦРО, цеповой вал предлагается сделать подвижным в вертикальной плоскости, за счет шарнирного крепления к опоре, с механизмом изменения высоты оси относительно горизонтальной плоскости станины станка. Это позволит управлять процессом окорки в области эффективных кинематических параметров. Двигатель отнесен назад, к краю станка и клиноременной передачей связан с окорочным цеповым валом. За счет изменения диаметров валов (шайб) можем изменять скорости вращения при использовании двигателя с неизменяемой скоростью вращения.

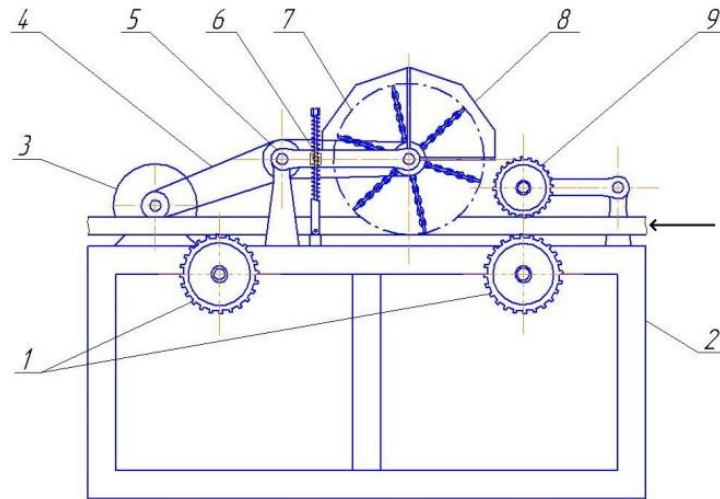


Рисунок 2.16 - Вид с боку окорочного станка с ЦРО для обработки горбыльных досок: 1 – приводные валы «рябухи» системы подачи; 2 – рама станка ЦА-2; 3- приводной электрический двигатель; 4 – клиноременная передача; 5 – опора с маятниковым механизмом крепления цепового вала; 6 – механизм регулировки высоты окорочного вала; 7- траектория движения звена ЦРО; 8 – защитный экран; 9 – прижимной валец.

Таким образом, серийный станок ЦА–2 с минимальной доработкой можно рекомендовать в качестве прототипа к серийному выпуску в качестве цепового станка для окорки горбыля.

2.8.2 Схема станка для обработки тонкомерных лесоматериалов

Обработка тонкомерных сортиментов ЦРО рациональна с четырех взаимно перпендикулярных сторон в областях зон эффективной окорки. Поэтому предлагается следующая конструктивная схема (рисунок 2.17). Станок работает следующим образом. Лесоматериал движется на подающем конвейере, перемещается на приемные ролики системы подачи установки. Затем древесный ствол 5 позиционируется по отношению к обрабатывающим цеповым валам. При достижении бревна первой, вертикальной пары цеповых валов происходит очистка от коры контактных зон эффективной окорки.

Далее подающим механизмом бревно перемещается под вторую, горизонтальную пару цеповых валов выполняется очистка коры оставшейся на поверхности, после чего бревно попадает в удерживающие вальцы и выносится из станка. Для обработки бревен различных диаметров цеповые валы могут быть исполнены с возможностью передвижения в соответствующих рабочих плоскостях, подстраиваясь под обрабатываемые сортаменты.

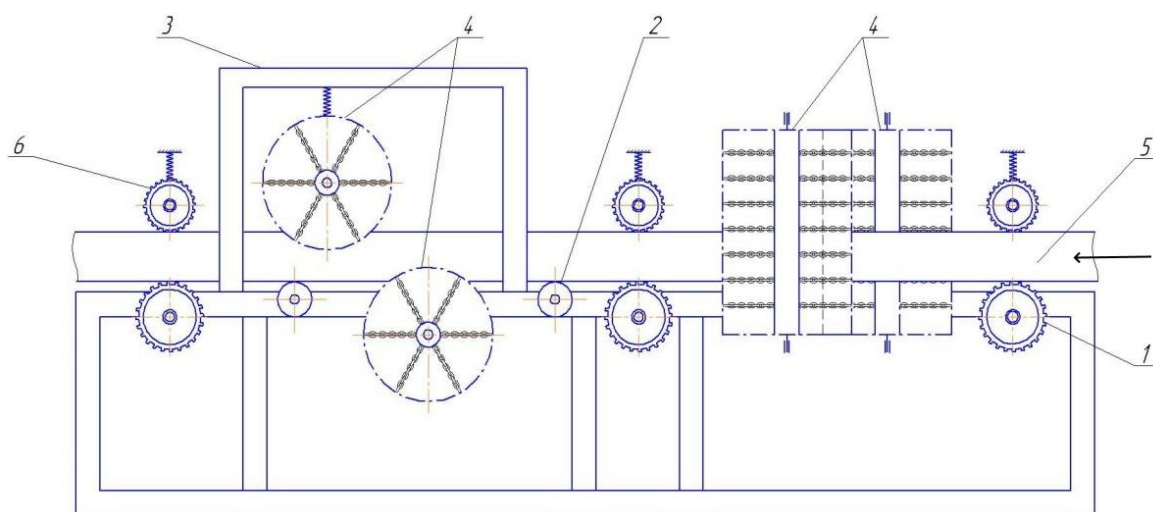


Рисунок 2.17 - Вид с боку окорочного станка с ЦРО для обработки тонкомерных лесоматериалов: 1 – приводной вал системы подачи; 2 – поддерживающий ролик; 3 - рама; 4 – горизонтальные и вертикальные пары цеповых валов; 5 – обрабатываемый ствол дерева; 6 – прижимной валец.

На основе проведённых литературных и патентных поисков разработана конструкция двух окорочных станков. Предлагаемые конструкции окорочных станков характеризуются относительно небольшой энерго- и металлоемкостью, просты в эксплуатации, могут быть изготовлены на любом машиностроительном предприятии.

2.9 Выводы по главе 2

На основании теоретических исследований процесса цеповой окорки:

- 1) Получены: уравнение основного кинематического соотношения, условия приведения цеповых рабочих органов в работоспособное состояние, формулы расчета подачи на один удар (шаг окорки) и на оборот вала.
- 2) Для определения мощности привода использован энергетический метод, являющийся производным от силовых и технологических параметров.
- 3) Рассмотрено влияние на силу окорки параметров цепа. Определены виды деформации коры при попутной и встречной подаче.
- 4) Получены следующие математические модели: определения кинетической энергии удара цепа; объема разрушенной коры; удельной работы; общей энергии на перемещение цепа по обрабатываемой поверхности за один оборот вала. Проанализированы режимы при попутном и встречном контактировании. С точки зрения энергетики процесса выявлено, что попутная подача предпочтительнее. Применение математической модели удельной работы процесса окорки ЦРО позволяет определить затраты энергии на обработку лесоматериалов.
- 5) Предложен способ расчета мощности цеповой окорки, мощности механизма подачи, энергоемкости процесса окорки.
- 6) Предложен вариант размещения рядов цепов на приводном валу с учетом перекрытия свободных зон, определены зоны эффективной цеповой окорки на боковой поверхности сортимента.
- 7) Представлена методика для определения степени чистоты цеповой окорки. Определено минимальное количество цепов в одном ряду приводного вала.
- 8) Предложены конструктивные схемы обработки: сегментных лесоматериалов с верхним, регулируемым в вертикальной плоскости расположением цепового вала и тонкомерного древесного ствола с четырех взаимно перпендикулярных сторон четырьмя цеповыми валами.

Глава 3. Методика и аппаратура экспериментальных исследований

3.1 Цели и задачи экспериментальных исследований

Целью экспериментальных исследований является получение значений удельной работы окорки ЦРО при различных режимах работы.

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику экспериментальных исследований, конструкцию экспериментальной установки, измерительной схемы и подобрать соответствующий комплект аппаратуры.
2. Обосновать выбор условий и объема работ исследований, спланировать проведение экспериментов.
3. Подготовить лесоматериалы для окорки и место их временного хранения.
4. Провести эксперименты по окорке ЦРО, с регистрацией необходимых параметров и обработать результаты.

3.2 Методика и экспериментальная установка проведения первой группы экспериментов

3.2.1 Методика проведения экспериментов

Для проведения сравнительного анализа различных способов окорки необходимо иметь критерии, которые объективно характеризуют все способы окорки лесоматериалов. В качестве приоритетного критерия нами был избран энергетический параметр – удельная работа окорки. Диссертационная работа Крисько А.С. по исследованию окорки сегментных лесоматериалов цеповыми рабочими органами, выполненная на кафедре ТОЛЗ СибГТУ [38] этот параметр не затрагивает. А ведь в современных

условиях наступающего энергетического кризиса, энергетические показатели любого процесса очень важны.

Для получения значений данного параметра при окорке ЦРО, была проведена серия экспериментов. Первоначально мы использовали экспериментальную установку Крисько А.С. [38], дополнив её системой фиксации мощности процесса.

В процессе эксперимента замерялась активная мощность, потребляемая электродвигателем установки при холостом ходе и при рабочем ходе - окорке. Активная мощность - это количество энергии, потребляемое в единицу времени и преобразуемое в полезную механическую работу, а также в тепловую энергию, представляющую собой сумму потерь в двигателе. Таким образом, величина активной мощности зависит от нагрузки двигателя. Разница между величинами мощности между рабочим и холостым ходом и будет суммарная мощность, затрачиваемая на процесс. Для измерения активной мощности окорки был применен комплект измерительный К540.

При проведении опытов, согласно методической сетке изменялись следующие показатели: величина подачи, частота вращения и направление подач (встречное и попутное), а так же порода заготовок.

Окорка производилась на свежесрубленных еловых и пихтовых лесоматериалах. Экспериментальные образцы в виде круглых лесоматериалов и сегментов выпиливались из ели и пихты и готовились сразу после осенней рубки в учреждении УП-235/7. Средний радиус составлял 9 см. С целью сохранения влажности образцы обертывались полиэтиленовой пленкой и хранились на открытом воздухе. Температура коры образцов находилась в интервале 15-17 градусов и контролировалась ртутным термометром. Время подготовки (вноса в помещение и закрепление) и самого процесса окорки не превышало 1-1,5 мин. Серия экспериментов для каждой партии образцов длилась не более трех дней. Непосредственно перед опытами в разных концах заготовки замерялась влажность коры электронным влагомером ЭВ-4М. Образцы закреплялись на столе и

подавались в окорку. За счет изменяемости высоты основы под обрабатываемым лесоматериалом регулировалась глубина и ширина пятна окорки, кинематические углы. После прохода цепа образец поворачивался неокоренной стороной кверху и опыт повторялся. Таким образом, на одном образце производилось три наблюдения.

Работа установки заключается в следующем: образец окоряемого лесоматериала закреплялся специально изготовленными приспособлениями на столе подачи станка, устанавливался кинематический угол встречи с поверхностью путем настройки высоты горизонтального стола с лесоматериалом, таким образом, регулировалась глубина и ширина пятна окорки, затем включался электродвигатель приводов вращения вала с цеповыми рабочими органами и подачи стола. При этом происходило сбивание коры концевыми звеньями цепов, и образец окорялся на всю длину. За счет возможности реверсного горизонтального движения рабочего стола обеспечивалась встречная или попутная подача окоряемого лесоматериала.

Опытные замеры проводились двумя наблюдателями в следующем порядке: штангенциркулем замерялась толщина коры в трех местах заготовки, высчитывалось среднее значение, образец крепился на установке и включался двигатель рабочего вала. Визуально по шкале прибора К540 фиксировалась величина мощности холостого хода, после чего первый наблюдатель включал механизм подачи и с помощью секундомера отмерял начало и конец процесса окорки. Второй - отмечал величину мощности рабочего хода. Режим работы установки соответствовал методической сетке эксперимента. Для каждого номера сетки приходилось по три параллельных опыта. Всего было проведено 108 наблюдений. Данные экспериментов заносились в журнал наблюдений (приложение Б). Удельная работа окорки рассчитывалась, как произведение длительности процесса (сек) на разницу показаний рабочего и холостого ходов (Вт), отнесенное к объему снятой коры (м^3).

3.2.2 Предварительный эксперимент

Минимальное количество наблюдений, необходимое для получения достоверных результатов, определялось по результатам предварительного, установочного эксперимента и находилось по зависимости:

$$n = \frac{v^2 t_c^2}{P^2};$$

где v – вариационный коэффициент;

t_c – показатель достоверности (критерий Стьюдента);

P – показатель точности.

В исследованиях по обработке древесины обычно принимают: $t_c = 1,96$ (вероятность 0,95) и $P = 5\%$.

Величина вариационного коэффициента определяется на основании пробного эксперимента по зависимости:

$$v = \frac{100\sigma}{M};$$

где: σ – величина средне квадратичного отклонения;

M – среднее арифметическое вариационного ряда.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n_n - 1}};$$

где: $\sum X^2$ – сумма квадратов отклонений всех наблюдений от среднего арифметического;

n_n – число наблюдений.

Средняя квадратическая ошибка среднего значения:

$$m_{кв} = \frac{\sigma}{\sqrt{n_n}};$$

Среднее арифметическое вариационного ряда:

$$M = \frac{\sum Y}{n_n};$$

где: $\sum Y$ – сумма числовых значений всех наблюдений;

Таким образом, после статистической обработки данных наблюдений (Приложение А) были получены значения минимально необходимого количества экспериментов в точке (кратность). Во всех случаях они ≤ 3 и поэтому было решено провести по 3 параллельных опыта.

Методическая сетка экспериментов представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Методическая сетка проведения первой группы экспериментов по окорке ЦРО

№	Порода	Вид подачи	$u, \text{ м/с}$	$v, \text{ м/с}$
1	2	3	4	5
1	ель	попутн.	0,0066	13,2
2			0,0066	16,6
3			0,0066	20,7
4	ель	попутн.	0,0053	13,2
5			0,0053	16,6
6			0,0053	20,7
7	ель	попутн.	0,0043	13,2
8			0,0043	16,6
9			0,0043	20,7
10	ель	встречн.	0,0066	13,2
11			0,0066	16,6
12			0,0066	20,7
13	ель	встречн.	0,0053	13,2
14			0,0053	16,6
15			0,0053	20,7
16	ель	встречн.	0,0043	13,2
17			0,0043	16,6
18			0,0043	20,7
19	пихта	попутн.	0,0066	13,2
20			0,0066	16,6
21			0,0066	20,7
22	пихта	попутн.	0,0053	13,2
23			0,0053	16,6
24			0,0053	20,7
25	пихта	попутн.	0,0043	13,2
26			0,0043	16,6
27			0,0043	20,7
28	пихта	встречн.	0,0066	13,2
29			0,0066	16,6
30			0,0066	20,7
31	пихта	встречн.	0,0053	13,2
32			0,0053	16,6

Продолжение таблицы 3.1				
1	2	3	4	5
33			0,0053	20,7
34	пихта	встречн.	0,0043	13,2
35			0,0043	16,6
36			0,0043	20,7

3.2.3 Экспериментальная установка и измерительная аппаратура

В качестве объекта исследований на кафедре «Технологии и оборудования лесозаготовок» СибГТУ была спроектирована и изготовлена экспериментальная окорочная установка на базе универсального фрезерного станка СФ 676 (рисунок 3.1). Станок состоит из чугунного основания 7, на котором закреплена станина 6. На станине монтируются все основные узлы станка. На боковой части станины, по горизонтальным направляющим, перемещается шпиндельная бабка путем вращения маховика ручной подачи 3. К переднему торцу бабки, при надобности, крепят головку вертикального шпинделя 2. Выбор скорости вращения осуществляется диском набора скоростей 4. По вертикальным направляющим станины перемещается суппорт, а по горизонтальным направляющим суппорта - горизонтальный стол 1, который служит для установки и крепления обрабатываемых изделий. Для позиционирования заготовки служит маховик 5 ручного перемещения стола в горизонтальном направлении.

Для проведения экспериментов со станка была удалена вертикальная шпиндельная головка. На ее место в горизонтальном шпинделе был установлен специально изготовленный горизонтальный окорочный вал, который второй концевой частью крепился в подшипниковой опоре жестко соединенной с суппортом Г-образным держателем, выполненным из металлической ленты. На окорочный вал крепились четыре прямых ряда цепов под прямым углом к друг другу.

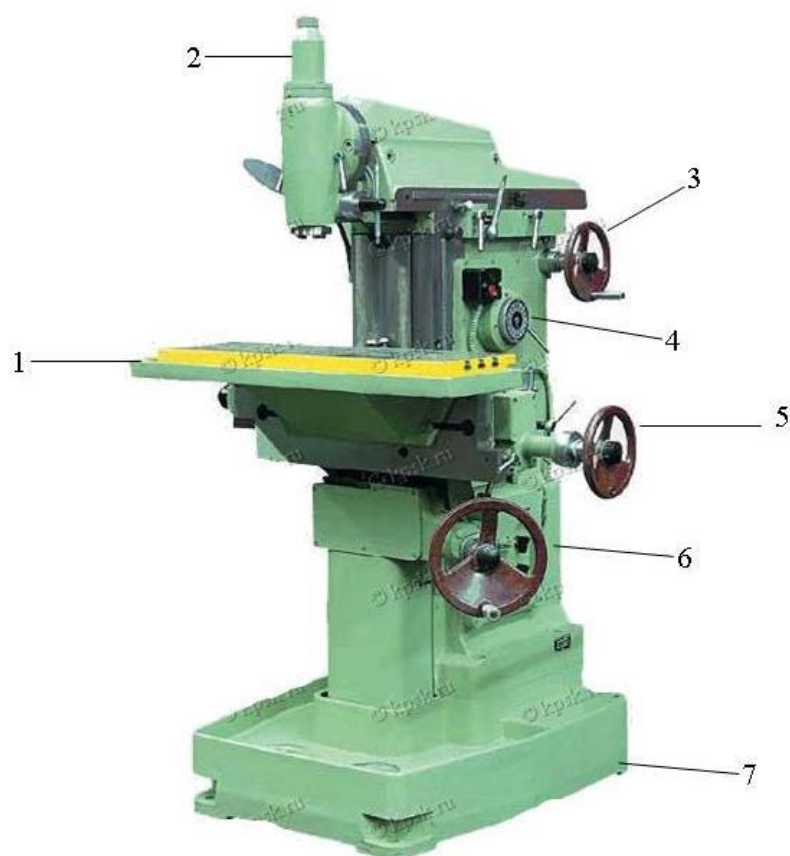


Рисунок 3.1 – Общий вид универсального фрезерного станка СФ 676

Таким образом, экспериментальная установка состоит из следующих основных узлов:

1 - приводного рабочего органа – цепового вала (вал с закрепленными ЦРО);

2 - защитного металлического экрана, закрывающего верхнюю часть цепового вала;

3 - бокового защитного экрана;

4 - горизонтального стола с креплениями для фиксации обрабатываемого лесоматериала; и измерительной аппаратуры для регистрации мощности окорки (рисунок 3.2).

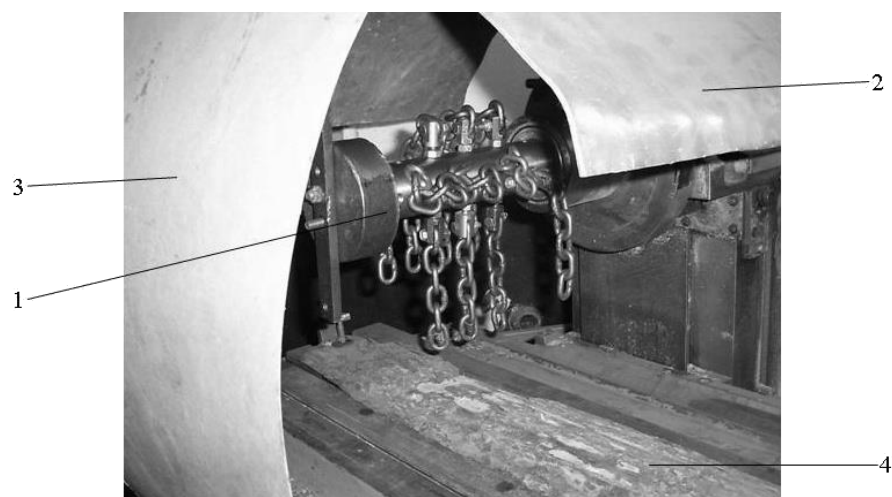


Рисунок 3.2 – Общий вид экспериментальной установки по исследованию процесса окорки ЦРО

Приводной вал изготавливался с четырьмя прямыми рядами отверстий под кронштейны крепления ЦРО в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 - Общий вид приводного вала с четырьмя прямыми рядами отверстий для крепления кронштейнов с ЦРО

Краткая техническая характеристика экспериментальной установки:

Скорости подачи лесоматериала, мм/мин	13...255-320-395
Частоты вращения окорочного вала, мин ⁻¹	50...840-1060-1320-1630
Длина обрабатываемых лесоматериалов, м	1
Мощность двигателя, кВт	3

Поверхность контакта взаимодействия конечных звеньев ЦРО с лесоматериалом в поперечном сечении представляет геометрическую фигуру в виде дуги. Для компенсации изгиба окоряемой поверхности лесоматериала конечными звеньями ЦРО были изготовлены специальные кронштейны, соединяющие вал и цепи. Кронштейны имеют возможность радиальной регулировки длины на валу, что обеспечивало настройку ряда конечных звеньев цепов по требуемому профилю. Вид кронштейна представлен (рисунок 3.4). Кронштейн фиксируется зажимной контргайкой, а цеп закреплен болтовым соединением. При этом кронштейн работает на растяжение, а болтовое крепление цепи - на изгиб. Проушина кронштейна позволяет применять цепи с калибрами прутка 6, 8 и 10 мм.



Рисунок 3.4 - Кронштейн крепления цепи

В качестве ЦРО брались отрезки цепи по ГОСТ 2319 - 70 «Цепи сварные круглозвенные грузовые и тяговые нормальной прочности». Характеристика параметров цеповых рабочих органов приведена в таблице 3.2, а внешний вид (рисунок 3.5).

Таблица 3.2 – Характеристика параметров цеповых рабочих органов

№	Калибр цепи, d мм	Шаг цепи, t мм	Ширина цепи, B мм	Нагрузка разрушающая H, не менее	Масса цепи, кг
1	6	19	21	13 700	0,072



Рисунок 3.5 – Вид цепового рабочего органа

Для надежного закрепления образца обрабатываемой заготовки на горизонтальном столе, были изготовлены приспособления с различной геометрией поперечного сечения (круглые и сегментные) (рисунок 3.6).

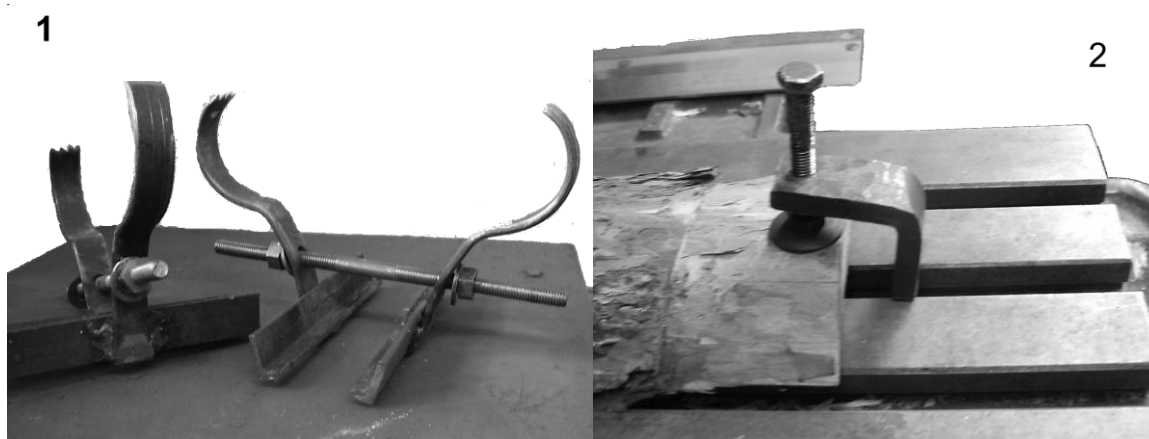


Рисунок 3.6 - Приспособления (струбцины) для закрепления образцов 1 - круглого сечения; 2 – пиломатериалов.

Для измерения активной мощности окорки использовался комплект измерительный К540 [41] (рисунок 3.7). Данная измерительная аппаратура предназначена для измерения силы тока, напряжения и мощности в однофазных, и трехфазных трехпроводных, и четырехпроводных электрических цепях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузках фаз. На лицевой панели измерительного комплекта К540 имеются измерительные приборы: амперметр, вольтметр и ваттметр, фазоуказатель. В

левой верхней части панели имеются клеммы (A↓, B↓, C↓, N) для подключения комплекта к питающей сети, а в правой верхней части панели - клеммы (A↑, B↑, C↑, N) для подключения комплекта к нагрузке. Пределы измерения вольтметра и обмотки напряжения ваттметра изменяются путем включения соответствующей кнопки. В таблице, нанесенной на лицевую панель, около каждого переключателя указаны пределы измерения и цена деления амперметра и вольтметра, а на пересечении пределов по току и по напряжению - цена деления ваттметра. Отсчет показаний приборов проводится по стрелочным указателям визуально.

Измерительный комплект К540 последовательно включался в электрическую цепь двигателя привода рабочего вала установки. Таким образом, имелась возможность измерения активной мощности при работе в холостом движении и непосредственно при рабочем ходе установки – окорке.



Рисунок 3.7 – Общий вид комплекта измерительного К540

Измерительный комплект К540 включался последовательно в цепь электрического питания двигателя привода рабочего вала установки. Таким образом, имелась возможность измерения мощности, напряжения и силы тока в обмотках двигателя холостого хода и рабочего режима окорки при различных величинах скорости подачи и оборотов вала. Вид схемы подключения измерительного комплекта К540 (рисунок 3.8).

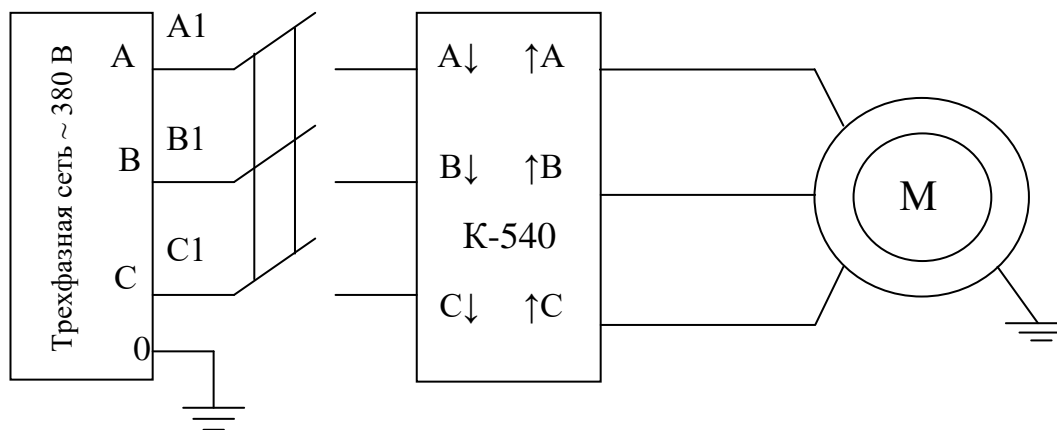


Рисунок 3.8 – Схема подключения измерительного комплекта К540 к экспериментальной установке

3.2.4 Принятые значения факторов

Ввиду проведения экспериментов, которых ранее никто не проводил и технических возможностей экспериментальной установки (требуются помощники – наблюдатели и трудности с регистрацией показаний опытов), мы использовали однофакторный эксперимент, где влияние факторов подвергается исследованию поочередно: сначала варьируется один из них, при этом уровни всех остальных факторов стабилизируются, затем аналогичным образом варьируется только второй и т.д.

Принимали следующие значения управляемых факторов активного эксперимента: масса звена – $m=12$ гр.; радиус вращения ЦРО – 0,155 м; в качестве цепов была использована круглозвенная цепь калибром $d=6$ мм, шаг цепи $t=19$ мм, ширина цепи $B=21$ мм; количество прямых рядов ЦРО на валу, шт. – $n_g=4$, количество ЦРО в одном ряду, шт. – $n_p=4$, что обеспечивало уравнивание масс цепового вала; скорость вращения вала, $\nu = 840, 1060$ и 1320 об/мин., что дает линейную скорость 13,2, 16,6 и 20,7 м/с соответственно. Это давало достаточное количество кинетической энергии

полной окорки при минимальном повреждении заболонной древесины; использовались три скорости подачи лесоматериала - $u = 255, 320$ и 395 мм/мин. или $0,0043, 0,0053$ и $0,0066$ м/с, это максимальные значения подачи горизонтального стола установки; длина заготовки лесоматериала – 1 м.; влажность коры свежесрубленных образцов – $W=93\div 95\%$, что максимально приближено к производственным условиям; температура коры колебалась в диапазоне – 15-17 градусов Цельсия, для облегчения протекания процесса окорки; толщина коры на заготовленных лесоматериалах в среднем составляла 4 мм., подбиралась одинаковой из срединной и вершинной частей стволов деревьев для обеспечения равных условий окорки. Для проведения эксперимента по окорке были выбраны древесные породы ели и пихты, так как они являются основным сырьем Красноярского ЦБК.

Обязательным условием было принято соблюдение однократной обработки, с обеспечением качества окорки в среднем - 97% (на поверхности отсутствуют элементы корки, луба и камбия) и минимальным повреждением заболонной древесины. Это условие является необходимым на деревообрабатывающем производстве.

3.2.5 Учет погрешностей измерительной аппаратуры

Эффективность оценки качества эксперимента находится в прямой зависимости от точности результатов испытаний. Большое количество типов измерительных приборов, каждый из которых обладает определенным набором элементов настройки, соединительных проводов, методов перерасчета снятых показаний в соответствии с формулами, приводимыми в технических описаниях прибора, может привести к погрешностям.

Расчет погрешностей при проведении эксперимента произведен по методике [76], составленной на основании теории ошибок.

Согласно данной методике, предельная относительная погрешность измерения какого-либо параметра складывается из суммы предельных относительных погрешностей источников ошибок.

При определении мощности предельная относительная ошибка складывается из следующих относительных ошибок:

1. Относительная ошибка по определению мощности окорки.

Измерительный комплект К540 характеризуется низкой погрешностью итоговых показателей измерений. Согласно техническим данным К540, предел относительной погрешности ваттметра равен $\delta_1 = \pm 0,5 \%$.

2. Относительная ошибка по определению толщины коры.

Толщина коры лесоматериала измерялась штангенциркулем, абсолютная погрешность которого $\Delta = 0,1$ мм. Наименьшая измеряемая величина составила $h = 2,5$ мм. Следовательно, относительная погрешность:

$$\Delta h_2 = \left(\frac{\Delta h}{h} \right) \cdot 100 = \left(\frac{0,1}{2,5} \right) \cdot 100 = 4 \%$$

3. Относительная ошибка по определению длины окоренного участка.

Длина окоренного участка определялась металлической линейкой с абсолютной погрешностью 1,0 мм. Минимальная измеряемая длина составила 450 мм. Относительная погрешность

$$\delta_3 = \pm \frac{\Delta l}{H} \cdot 100 = \frac{1,0}{450} \cdot 100 = 0,22 \%$$

Предельная относительная ошибка измерений равна

$$\sum \delta_i = \pm (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) = \pm (0,5 + 4 + 0,22) = \pm 4,72 \%$$

Теорией ошибок доказано, что в качестве вероятной ошибки измерений может быть принята величина, равная 1/3 от общей предельной ошибки измерений.

Следовательно, при определении мощности вероятная ошибка равна

$$\frac{1}{3} \sum \delta_i = \pm \frac{4.72}{3} = \pm 1,57 \%$$

Из приведенных расчетов видно, что погрешности измерений не могут внести существенных искажений в исследуемые процессы.

3.3 Методика и экспериментальная установка проведения второй группы экспериментов

3.3.1 Методика проведения экспериментов

Опытные замеры производились тремя наблюдателями в следующем порядке: замерялась толщина коры, образец крепился на установке и включался двигатель рабочего вала. Визуально по шкале прибора фиксировалась величина мощности холостого хода, после чего первый наблюдатель включал механизм подачи и с помощью секундомера отмерял начало и конец процесса окорки. Второй - отмечал величину мощности рабочего хода. В это время третий наблюдатель измерял число оборотов (частоту вращения) окорочного вала используя магнитный, ручной тахометр типа ИО-30. Острие наконечника шпинделя тахометра прижималось к лунке в центре торца вращающегося вала и снимались показания по шкале тахометра в момент холостого и рабочего хода. Данный измерительный прибор имеет шкалу, рассчитанную на три диапазона измерений: от 3,14 до 31,4; от 31,4 до 314; от 314 до 3140 с⁻¹.

Минимальное количество наблюдений необходимое для получения достоверных результатов определялось по результатам предварительного, установочного эксперимента и аналогично находилось по формулам §3.2.2.

После статистической обработки (Приложение А) были получены значения минимально необходимого количества экспериментов в точке (кратность). Во всех случаях она не превышает 12, и поэтому было решено провести по 12 параллельных опытов. Это дало показатель точности 95%.

Всего было проведено 432 наблюдения. Удельная работа окорки рассчитывалась, как произведение длительности процесса (сек) на разницу показаний рабочего и холостого ходов (Вт), отнесенное к объему снятой коры (м^3). Длительность процесса рассчитывалась как отношение длины образца к скорости надвигания.

3.3.2 Экспериментальная установка и измерительная аппаратура

На созданной нами ранее первой экспериментальной установке был недостаток – малые скорости подачи, что вело к лишней затрате энергии и сильному измельчению коры. Для определения силовых (энергетических) показателей цеповой окорки с промышленными подачами была изготовлена экспериментальная установка на базе круглопильного тарного станка ЦА-2 (рисунок 3.9). С данного оборудования были сняты пильный вал, верхняя часть механизма надвигания, противовыбрасыватель и ограждение. На станину в свою очередь были установлены электродвигатель постоянного тока и окорочный вал с закрепленными на нем цепами. Из швеллера были изготовлены: консоль для крепления электродвигателя и две сборные стойки под подшипниковые опоры окорочного вала. На стойках закреплены опоры под самоустанавливающиеся подшипники вала. Для фиксирования окоряемого лесоматериала изготовлен ребристый прижимной валец гравитационного действия.

Для крепления на валу цепов (отрезков цепей) использовались специально изготовленные устройства, которые были расположены в четыре прямых ряда. Использовались цепи согласно ГОСТ 2319-70 калибром $d=6$ мм.

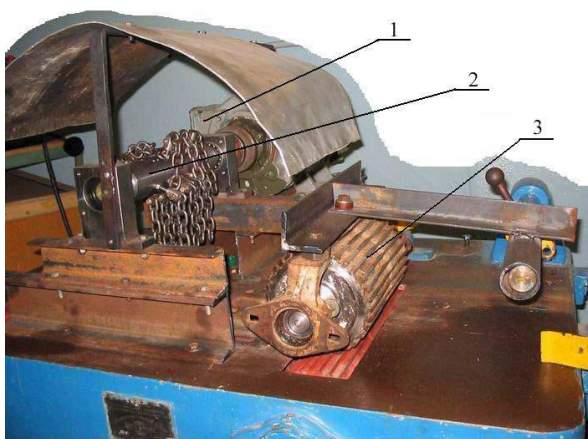


Рисунок 3.9 – Экспериментальная установка для исследований процессов цеповой окорки: 1 – электродвигатель, 2 – окорочный вал с закрепленными цепями, 3 - прижимной валец

Краткая техническая характеристика экспериментальной установки:

Скорости подачи лесоматериала, м/с	0,48; 0,68; 0,88
Частоты вращения окорочного вала, сек ⁻¹	0 - 320
Длина обрабатываемых лесоматериалов, м	0,6-1
Мощность двигателя привода вала, кВт	1

Для определения мощности окорки, замерялась активная мощность, потребляемая электродвигателем установки при холостом ходе и при нагрузке – непосредственно при окорке. Разница между этими величинами и есть мощность, затрачиваемая на процесс окорки [63].

В качестве прибора измеряющего мощность, был подключен комплект измерительный К540, включающий вольтметр, амперметр и ваттметр. Вид схемы подключения измерительного комплекта К540 (рисунок 3.10).

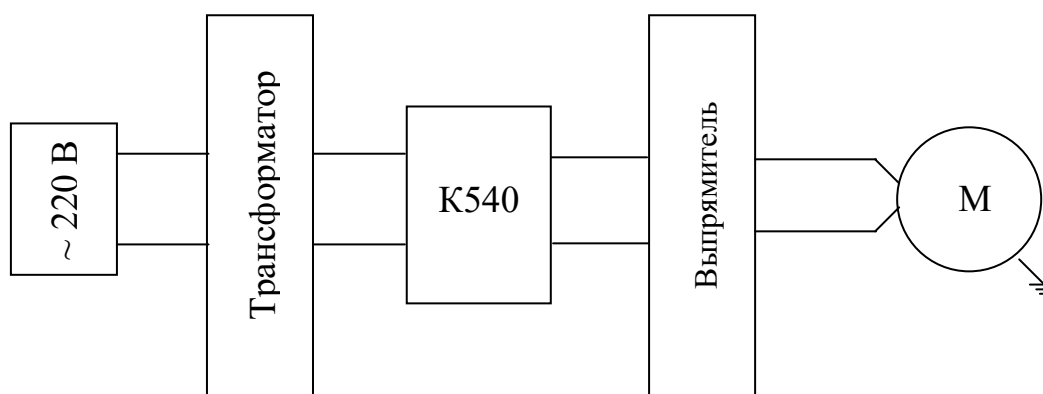


Рисунок 3.10 – Схема подключения измерительного комплекта К540 к экспериментальной установке

3.3.3 Принятые значения факторов

При проведении опытов изменялись следующие показатели: величина подачи промышленного станка (0,48; 0,68; 0,88 м/с), кроме этого, мы варьировали число оборотов рабочего вала (251; 283 и 314 с⁻¹), что при величине радиуса цепа 0,155 м дало значение линейной скорости последнего звена цепа 37,7; 42,4 и 47,1 м/с соответственно. Окорка производилась на свежесрубленных еловых пластинах, с толщиной коры от 2 до 4 мм. Образцы готовились сразу после рубки и выпиливались из 4-х метровых бревен, затем они продольно распиливались пополам. Из получившихся пластин изготавливались образцы длиной 1 м., средний радиус которых составлял 9 см. С целью сохранения влажности образцы обертывались полиэтиленовой пленкой и хранились в помещении, имеющем стабильную температуру воздуха (+15 ±3°C). Время подготовки и сам процесс окорки составляли в среднем 1,5-3 мин. Серия экспериментов для каждой партии образцов длилась не более трех дней. Непосредственно перед опытами замерялась влажность коры электронным влагомером ЭВ-4М, которая была в пределах 93-99%. Образцы закреплялись на деревянной основе и подавались в окорку.

За счет изменяемости высоты основы под обрабатываемым лесоматериалом регулировались глубина и ширина пятна окорки, кинематические углы. Качество окорки представляет собой отношение площади окоренной поверхности к общей поверхности образца. Во всех случаях оно составляло 98-99 % (на поверхности отсутствуют элементы корки и луба).

3.3.4 Расчет погрешностей измерений

Для определения предельной относительной ошибки измерений второй группы опытов воспользуемся методикой, представленной в §3.2.5.

При определении мощности предельная относительная ошибка складывается из следующих относительных ошибок: определения мощности окорки; толщины коры; длины окоренного участка; взвешивания навески коры. Необходимо добавить дополнительный расчет по взвешиванию навески коры, при определении фракционного состава.

Взвешивание навески элементов коры производилось при помощи электронных лабораторных весов OHAUS Scout Pro SP2001 с ценой деления 0,1 г. и с точностью до $\Delta m = 0,1$ г.

$$\delta_4 = \pm \frac{\Delta m}{m_n} \cdot 100 = \frac{0,1}{360} \cdot 100 = 0,027 \%$$

где m_n – среднее значение массы образца навески, г.

Предельная относительная ошибка измерений равна

$$\sum \delta_i = \pm(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) = \pm(0,5 + 4 + 0,22 + 0,027) = \pm 4,99 \%$$

Теорией ошибок доказано, что в качестве вероятной ошибки измерений может быть принята величина, равная 1/3 от общей предельной ошибки измерений.

Следовательно, при определении мощности вероятная ошибка равна

$$\frac{1}{3} \sum \delta_i = \pm \frac{4,99}{3} = \pm 1,66 \%$$

Из приведенных расчетов также заметно, что погрешности измерений не могут внести существенных искажений в исследуемый процесс.

3.4 Выводы по главе 3

1) Обработка результатов эксперимента по предлагаемой методике позволяет получить значения удельной работы окорки с необходимой достоверностью.

2) Созданная для проведения исследований экспериментальная окорочная установка обеспечивает возможность варьирования основными параметрами в процессе испытаний (изменялись скорости вращения, надвигания, кинематические углы), что дало возможность экспериментально проверить правильность представленных в настоящей работе теоретических предпосылок по определению энергетического параметра и режимов работы окорочной установки.

3) Разработанный комплекс измерительной аппаратуры позволил проводить испытания с максимальным приближением условий работы к реальным производственным.

Глава 4. Результаты экспериментальных исследований

4.1 Результаты экспериментов первой группы опытов

Журнал наблюдений первой группы опытов по окорке ели представлен в приложении Б.1, на основании которого итоговые результаты сведены в таблицу 4.1 [64].

Таблица 4.1 - Результаты опытов по окорке свежесрубленной ели, влажностью 93-95%

$V_{\text{лин.}}$, м/с	$U_{\text{под.}}$, м/с	Напр. подачи	Уд. работа - k			$k_{\text{ср}}$	Напр. подачи	Уд. работа - k , МДж/м ³			$k_{\text{ср}}$
13,2	0,0066	поп.	46	46	48	47	встр.	78	74	68	73
	0,0053		56	56	57	56		81	84	90	85
	0,0043		67	75	74	72		97	101	100	99
16,6	0,0066	поп.	93	97	98	96	встр.	94	106	105	102
	0,0053		125	128	126	127		137	134	135	135
	0,0043		107	169	163	147		130	172	167	156
20,7	0,0066	поп.	122	120	121	121	встр.	127	132	131	130
	0,0053		150	153	152	152		169	166	172	169
	0,0043		210	193	194	199		213	209	215	212

Зависимость удельной работы окорки от скорости подачи графически представлена (рисунок 4.1), а от линейной скорости конечного звена элемента цепи (рисунок 4.2). Прежде всего, бросается в глаза очень большая величина удельной работы окорки, достигающая в некоторых случаях 200 и более МДж/м³. Уместно вспомнить в связи с этим упоминавшиеся нами ранее значения для других видов окорки. Так, при ножевом способе окорки величина удельной работы составляет - 10-12; продольном фрезеровании - 15-17 [105]; дисковом фрезеровании – 11,2 – 22,5; роторной окорке - 6,5-7,2 МДж/м³ [89]). Эти данные показывают, что излишняя удельная работа идет на сильное измельчение коры и трение цепов по уже окоренным участкам.

Происходит это, на наш взгляд, из-за малой скорости продвижения, когда большое количество энергии тратится впустую.

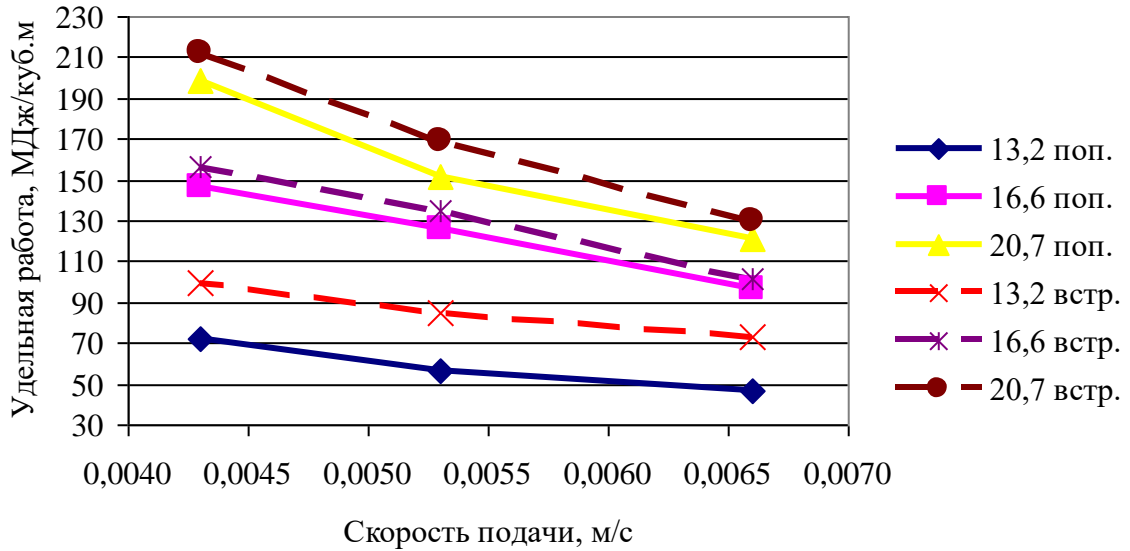


Рисунок 4.1 - Зависимость удельной работы окорки ели от подачи

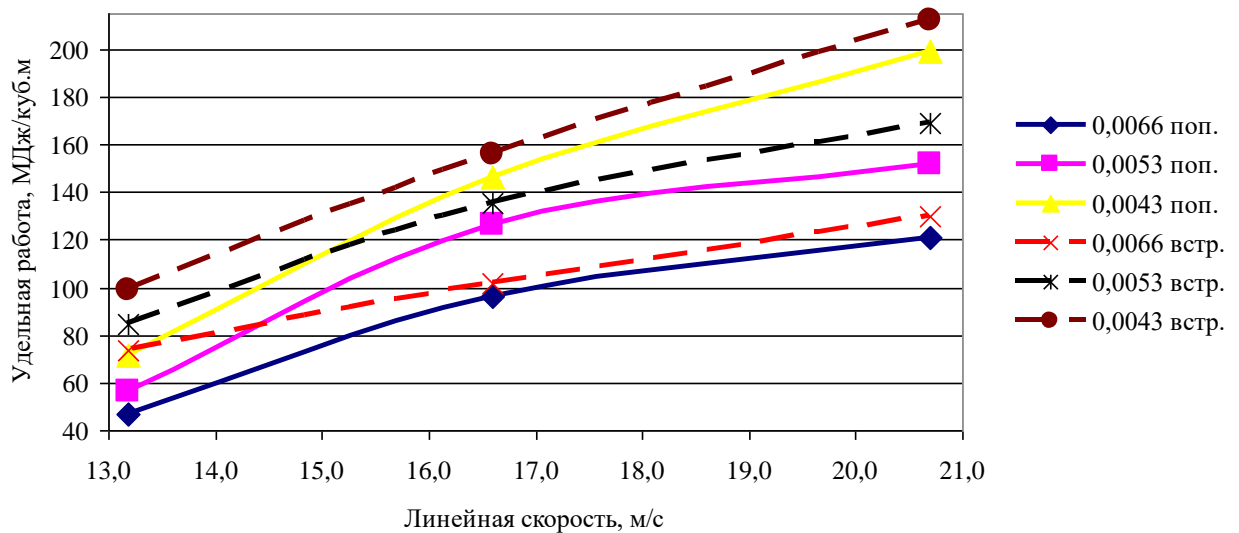


Рисунок 4.2 - Зависимость удельной работы окорки ели от линейной скорости

Полученные в результате окорки ели элементы отлетевшей коры были сильно измельчены и имели мукообразно-пылевидный вид. Основной объем

разрушенной коры составляли элементы с размерами не более 2-3 мм. Самые крупные частицы коры достигали размеров 5 x 5 мм, так же имелись светлые полоски заболонной древесины длиной от 1 до 13 мм и шириной от 1 до 5 мм. Общий вид элементов измельченной коры ели представлен на фотографии (рисунок 4.3).

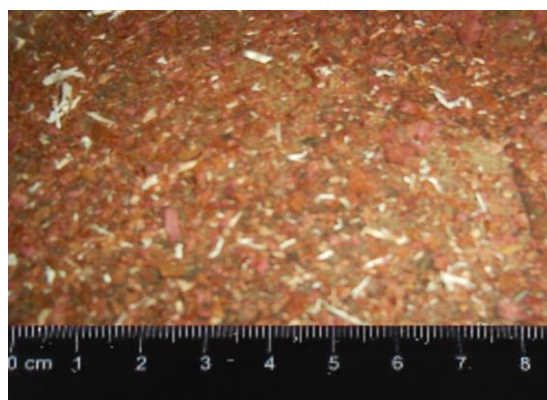


Рисунок 4.3 – Фотография элементов коры ели после окорки ЦРО

Журнал наблюдений по окорке пихты представлен в приложении Б.2, а полученные результаты показаны в таблице 4.2 и графически (рисунки 4.4 и 4.5) [62].

Таблица 4.2 - Данные опытов по окорке свежесрубленной пихты, влажностью 92-95%

$V_{\text{лин.}}$, м/с	$U_{\text{под}}$, м/с	Напр. подачи	Уд. работа - k , МДж/м ³			$k_{\text{ср}}$	Напр. подачи	Уд. работа - k , МДж/м ³			$k_{\text{ср}}$
13,2	0,0066	поп.	53	60	57	56	встр.	76	74	77	75
	0,0053		67	66	71	68		92	97	97	95
	0,0043		79	100	91	90		114	116	111	114
16,6	0,0066	поп.	100	103	99	101	встр.	112	122	127	120
	0,0053		138	135	135	136		154	150	149	151
	0,0043		170	172	166	170		187	181	190	186
20,7	0,0066	поп.	137	139	138	138	встр.	149	168	157	158
	0,0053		184	186	185	185		198	211	211	206
	0,0043		227	228	217	224		231	247	240	239

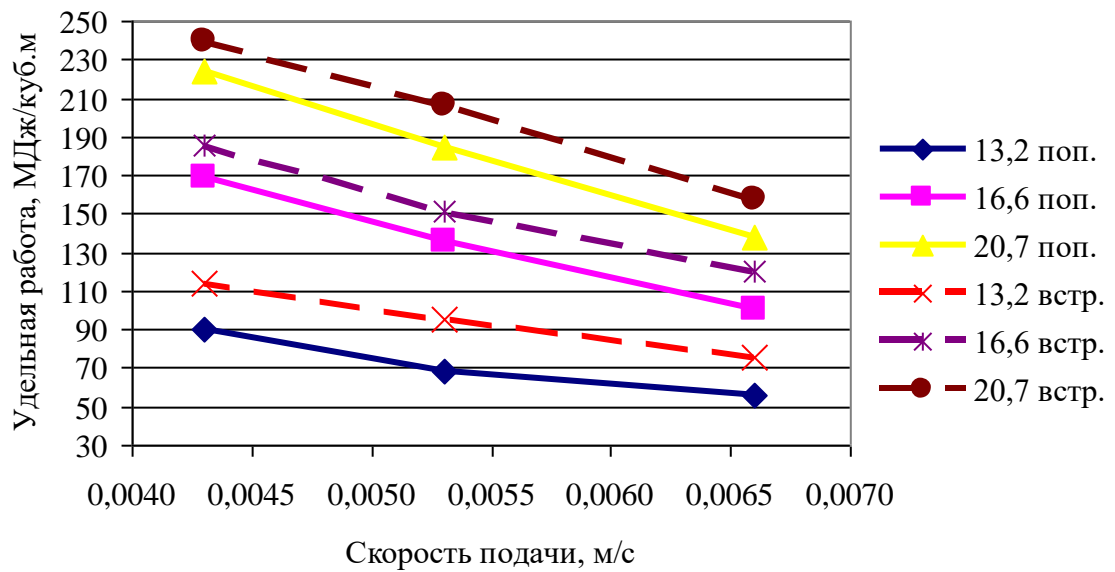


Рисунок 4.4 - Зависимость удельной работы окорки пихты от подачи

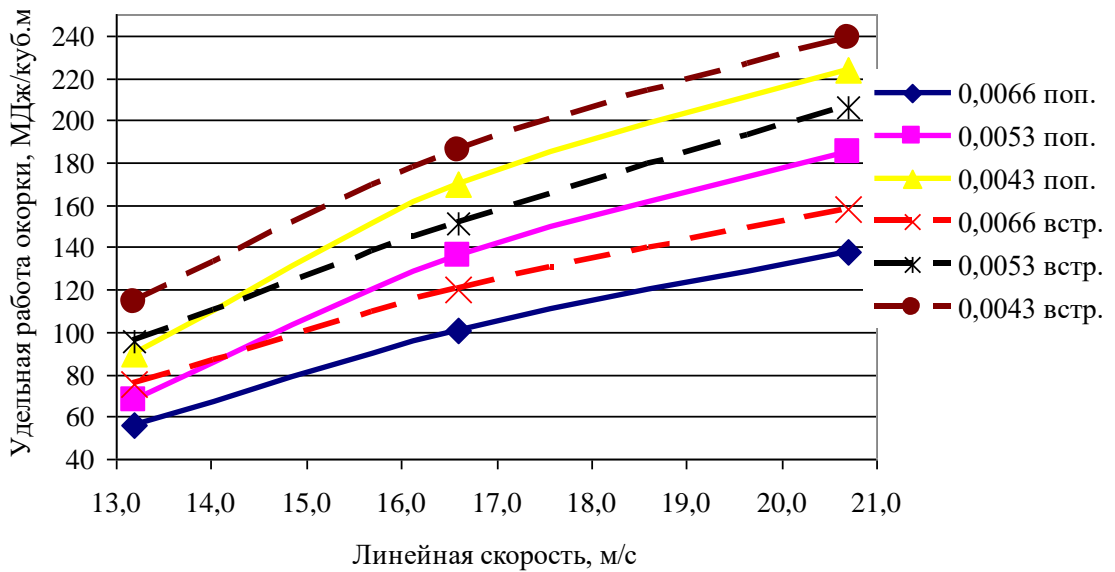


Рисунок 4.5 - Зависимость удельной работы окорки пихты от линейной скорости

Общая картина точно такая же, как и у ели, только значение удельной работы несколько больше.

Анализируя результаты экспериментальных исследований окорки первой группы опытов, можно сделать некоторые итоги:

1) Полученные значения удельной работы - k окорки лесоматериалов ели и пихты при одинаковых технологических параметрах имеют разброс величин от 46 до 247 МДж/м³. У ели они меньше, чем у пихты в среднем на 15 %.

2) С увеличением скорости подачи k уменьшается в среднем в 1,7 раза. Причем при попутной подаче уменьшение на 10-15% больше по сравнению с встречной подачей.

3) При увеличении линейной скорости цепа k увеличивается в 2-3 раза. Причем при попутной подаче увеличению в среднем на 25% больше по сравнению со встречной подачей.

4) Полученные значения удельной работы гораздо больше, чем при других способах окорки. Это объясняется малой величиной подачи, при которой происходят лишние затраты энергии на сильное измельчение коры, которая превращается в столь мелкую фракцию, напоминающую древесную муку.

5) Анализ графиков показывает, что удельная работа, с увеличением подачи стремится к минимальному значению. Соответственно, можно предположить, что при промышленных скоростях надвигания лесоматериала (до 1,5-2 м/с) ожидается получение гораздо меньших удельных затрат энергии.

Таким образом, возникла необходимость в проведении второй группы опытов с промышленными величинами подачи и скорости вращения вала.

4.2.1 Результаты экспериментов второй группы опытов

Данные экспериментов второй группы опытов по окорке ели показаны в приложении В.1, а результаты представлены в таблице 4.3 [64]. По ним

построены графики зависимости удельной работы окорки ели от величины подачи (рисунок 4.6) и зависимости удельной работы окорки ели от скорости вращения ЦРО (рисунок 4.7) [66, 71].

Таблица 4.3 - Результаты опытов по окорке свежесрубленной ели, влажностью 93-95%

$V_{\text{лин.}}$, м/с	$U_{\text{под.}}$, м/с	Напр. подачи	Уд. работа - k , МДж/м ³					$k_{\text{ср}}$	Напр. подачи	Уд. работа - k , МДж/м ³					$k_{\text{ср}}$
			1,70	1,60	1,71	1,65	1,66			2,30	2,29	2,23	2,13	2,24	
37,7	0,88	поп.	1,70	1,60	1,71	1,65	1,66	встр.	2,30	2,29	2,23	2,13	2,24		
	0,68		2,65	2,63	2,49	2,63	2,60		2,83	3,33	2,78	3,46	3,10		
	0,48		3,79	3,81	3,55	3,81	3,74		4,61	4,72	4,83	5,09	4,81		
42,4	0,88	поп.	2,15	2,46	2,38	2,20	2,30	встр.	2,73	2,75	3,11	2,93	2,88		
	0,68		3,54	3,13	3,54	3,15	3,34		3,83	4,37	3,79	4,10	4,02		
	0,48		4,31	4,48	3,65	4,38	4,20		5,06	5,42	5,31	4,71	5,12		
47,1	0,88	поп.	2,83	2,88	2,93	2,83	2,87	встр.	3,66	3,67	3,65	3,48	3,61		
	0,68		3,70	3,77	3,82	3,73	3,76		4,32	4,44	4,35	4,42	4,38		
	0,48		4,92	5,07	5,36	5,00	5,12		6,43	6,68	6,63	6,70	6,61		

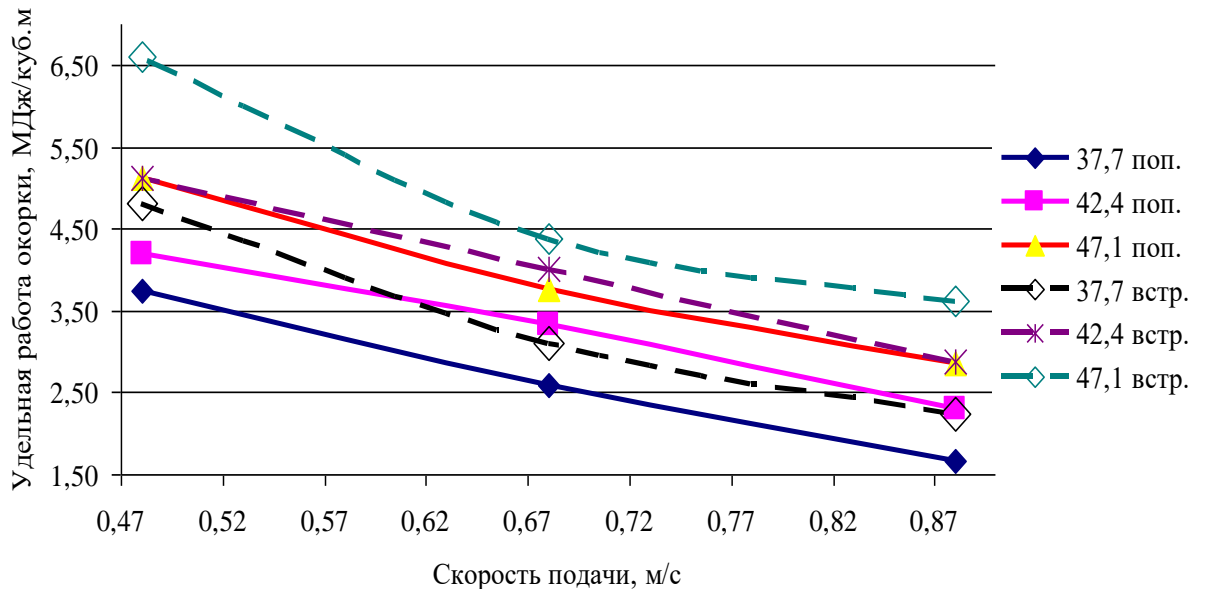


Рисунок 4.6 - Зависимость удельной работы окорки ели от скорости подачи

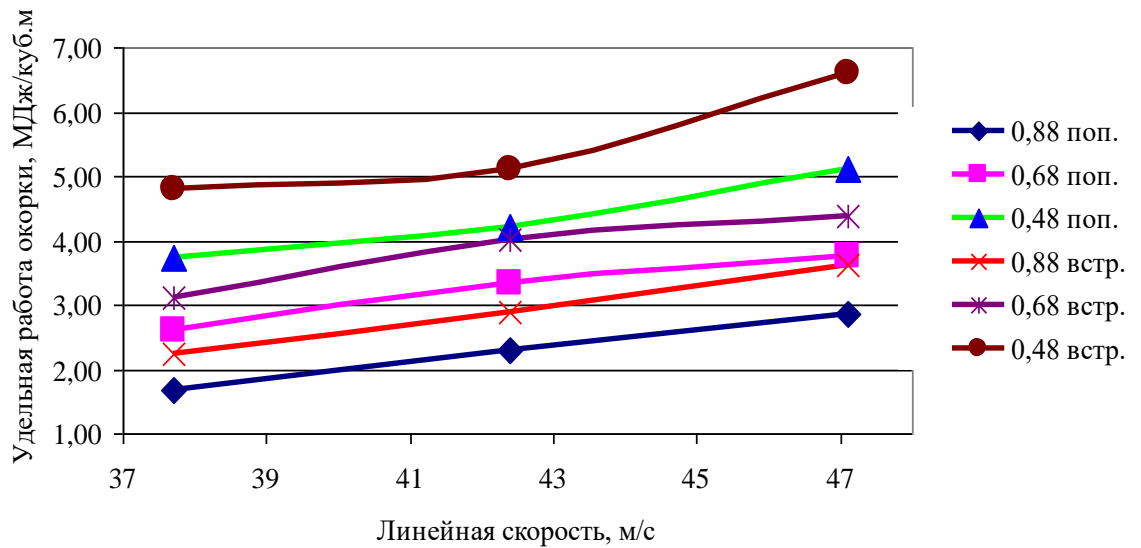


Рисунок 4.7 - Зависимость удельной работы окорки ели от линейной скорости

Полученные данные экспериментов окорки пихты второй группы опытов показаны в приложении В.2, а результаты представлены в таблице 4.4 [64]. С их использованием построены графики зависимости удельной работы окорки пихты от величины подачи (рисунок 4.8) и зависимости удельной работы окорки пихты от линейной скорости (рисунок 4.9) [66, 71].

Таблица 4.4 - Данные опытов по окорке свежесрубленной пихты, влажностью 92-95%

$V_{\text{лин.}}$, м/с	$U_{\text{под.}}$, м/с	Напр. подачи	Уд. работа - k , МДж/м ³					$k_{\text{ср}}$	Напр. подачи	Уд. работа - k , МДж/м ³					$k_{\text{ср}}$
37,7	0,88	поп.	2,23	1,96	2,07	2,67	2,23	встр.	2,79	2,74	2,83	3,58	2,98		
	0,68		3,24	3,59	3,25	3,27	3,34		3,15	3,95	3,38	3,64	3,53		
	0,48		4,02	4,43	3,87	4,77	4,27		5,03	5,57	5,05	5,03	5,17		
42,4	0,88	поп.	2,79	2,56	2,76	2,79	2,72	встр.	3,18	3,07	3,02	3,04	3,08		
	0,68		3,88	3,90	3,85	3,91	3,88		4,55	4,37	4,32	4,54	4,45		
	0,48		5,66	5,11	5,97	5,04	5,44		6,18	6,09	7,08	6,27	6,40		
47,1	0,88	поп.	3,10	3,29	3,20	3,03	3,15	встр.	3,79	3,72	3,60	3,74	3,71		
	0,68		3,89	4,23	3,92	4,21	4,01		4,75	4,53	4,72	4,72	4,68		
	0,48		6,78	5,75	5,77	5,76	6,10		7,64	7,60	7,43	7,28	7,49		

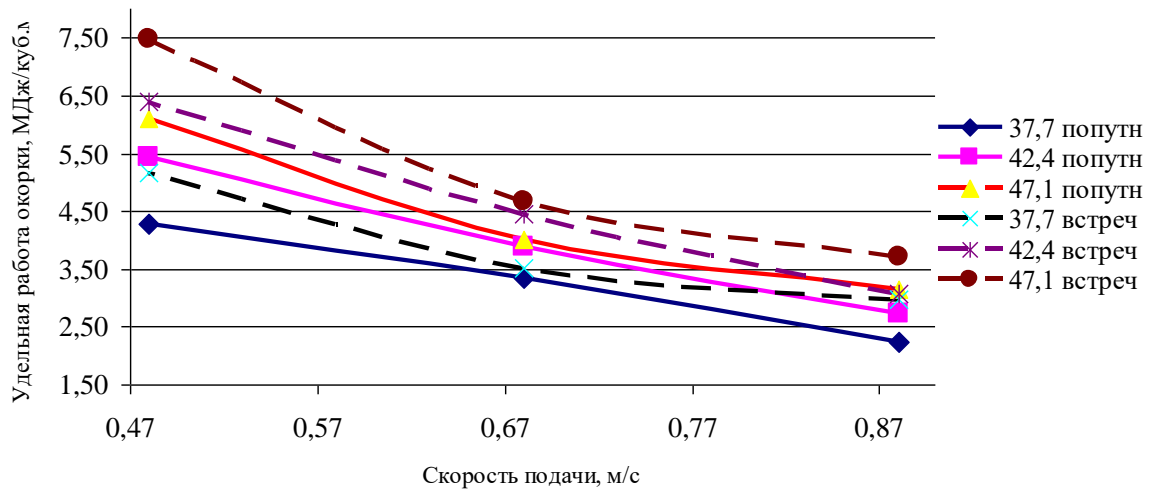


Рисунок 4.8 - Зависимость удельной работы окорки пихты от подачи

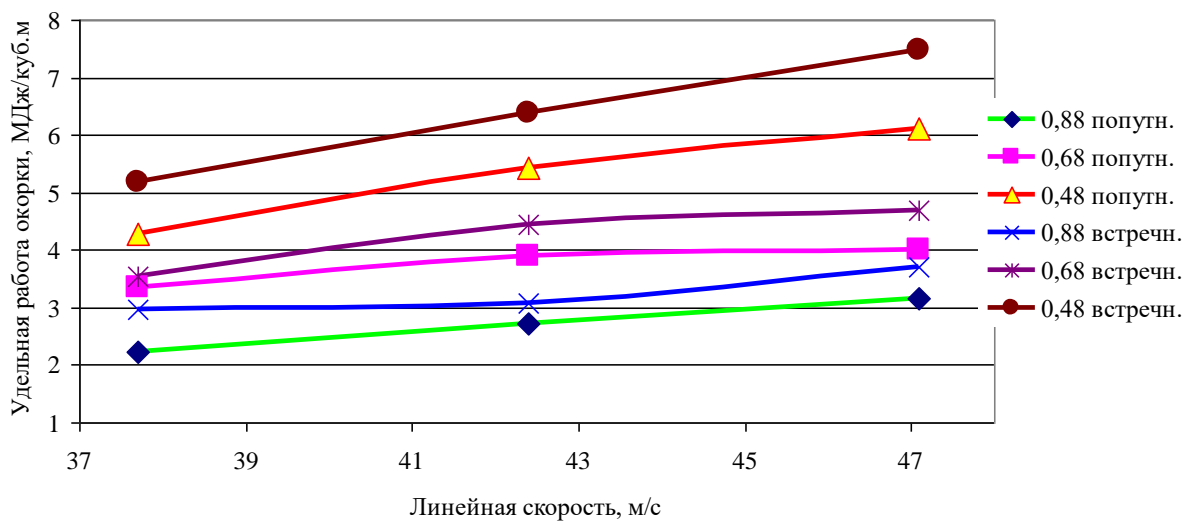


Рисунок 4.9 - Зависимость удельной работы окорки пихты от линейной скорости

Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты определения удельной работы окорки ели при попутной подаче были проверены на сходимость со значениями, вычисленными по математической модели (формула 2.35). Абсолютные и относительные отклонения результатов представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Проверка сходимости теоретических и экспериментальных данных

№ эксперимента	Значение коэффициента удельной работы окорки, МДж/куб.м		Отклонение экспериментальных данных от теоретических	
	эксперимент.	теоретическое (расчётн.) по формуле 3.24	абсолют., МДж/куб.м	относ., %
1	3,74	3,21	-0,53	16,6
2	4,2	4,05	-0,15	3,6
3	5,12	5,00	-0,12	2,4
4	2,6	2,26	-0,34	14,8
5	3,34	2,86	-0,48	16,7
6	3,76	3,53	-0,23	6,5
7	1,66	1,75	0,09	5,1
8	2,3	2,21	-0,09	4,0
9	2,87	2,73	-0,14	5,2
Среднее				7,2

Сравнение расчетных и экспериментальных значений удельной работы окорки показало, что расхождение результатов не превышает в среднем 7 % и не превышает допустимых значений. Графики сопоставления экспериментальных и теоретических зависимостей удельной работы окорки ели представлены (рисунки 4.10 и 4.11). Тем самым подтверждена корректность принятых допущений и самой математической модели.

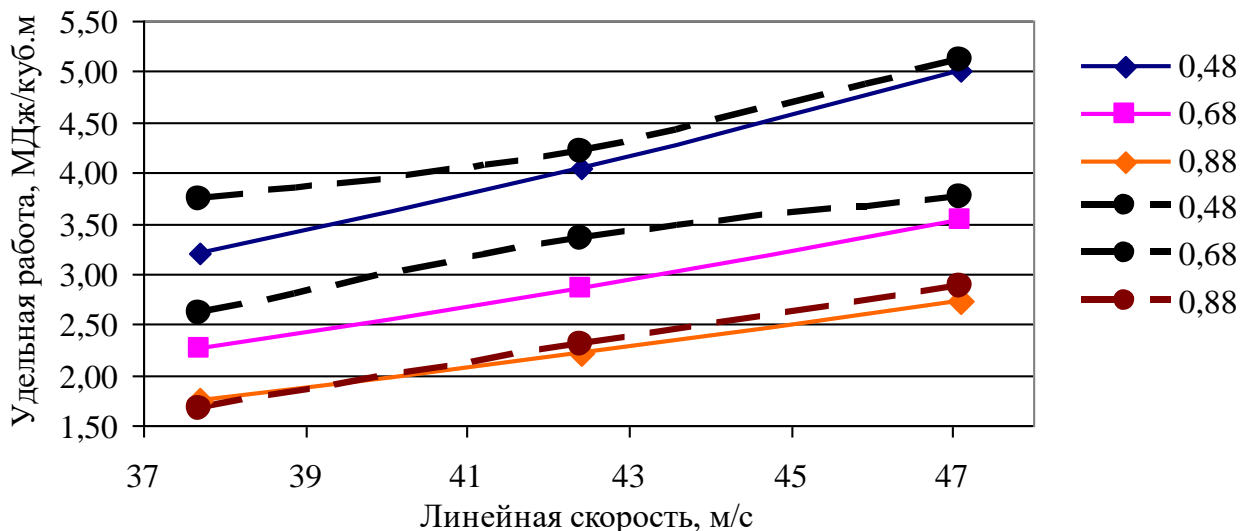


Рисунок 4.10 - Сопоставление экспериментальных и теоретических зависимостей удельной работы окорки ели при попутной подаче от линейной скорости цепи: — — — . - экспериментальные; ——— - расчетные.

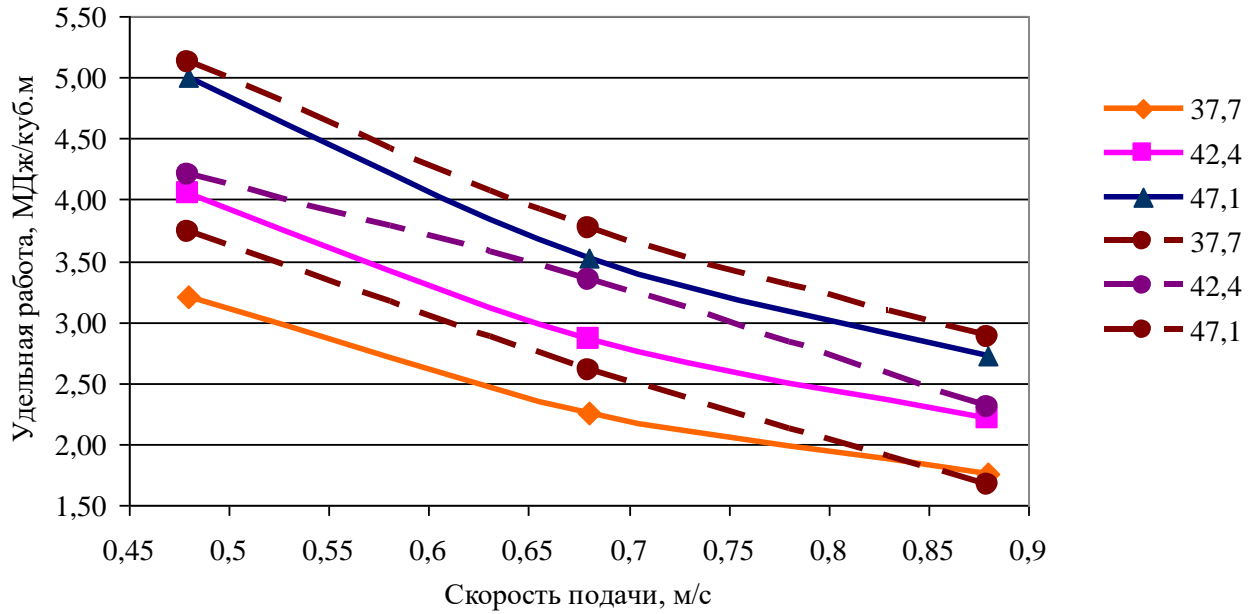


Рисунок 4.11 - Сопоставление экспериментальных и теоретических зависимостей удельной работы окорки ели при попутной подаче от скорости подачи: — — — . - экспериментальные; ——— - расчетные.

Проведенные исследования показали, что значения k до 20 раз меньше, чем при окорке в первой группе опытов. Частицы отлетевшей коры в результате окорки пихты гораздо крупнее, по сравнению с первой группой опытов. Основной объем частиц коры составляли элементы с размерами 4-6 мм. Самые крупные единичные частицы коры имели вид полосы с размерами до 50 x 10 мм и встречались редко, основная же масса частиц коры имела размеры 5 x 10 мм. Общий вид элементов обработанной коры пихты (рисунок 4.12).



Рисунок 4.12 - Элементы коры пихты после окорки с промышленными скоростями подачи

Общий вид поверхности заготовки после окорки (рисунок 4.13). Заметно, что кора удалена почти полностью в зоне взаимодействия с ЦРО. Древесина имеет повреждения в виде небольших вдавливания от звена ЦРО. Вырывов и мшистости не наблюдается, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к сырью при производстве технологической щепы.



Рисунок 4.13 – Вид окоренной поверхности пихты

При взаимодействии цеповых рабочих органов с поверхностным слоем обрабатываемого материала происходит отрыв элементов коры. Они имеют различную геометрическую форму и размеры. Это свидетельствует о

множестве разных видов происходящих контактных воздействий, таких как: скалывание вдоль и поперек волокон, отрыв, измельчение, истирание и т.д..

После каждого опыта по окорке собирались отлетевшие элементы коры для нахождения фракционного состава (рисунок 4.12). Таким образом, формировались навески. Затем они поочередно сортировались в течении 1 минуты на анализаторе технологической щепы АЛГ – М (рисунок 4.14) ситами № 30 (особо крупные элементы коры), № 20 (крупные), № 10 (средние), № 5 (мелкие), № 1 – поддон (мельчайшие). Отдельной выборке со всех сит и поддона подвергались частицы поврежденной древесины. Затем массовые доли остатков на ситах взвешивались при помощи электронных лабораторных весов OHAUS Scout Pro SP2001.

Техническая характеристика анализатора АЛГ – М.

- Тип анализатора.....гирационный
- Количество сит.....4
- Количество поддонов.....1
- Диаметр ячеек сит, мм.....30; 20; 10; 5

Частота вращения эксцентрикового вала, об/мин.....210



Рисунок 4.14 – Анализатор технологической щепы АЛГ – М

Полученные результаты по фракционному составу элементов коры ели после попутной окорки показаны в приложении Г., таблице Г 1. Анализируя значения представленной таблицы, мы можем заметить следующее. Большую

часть элементов коры ели при попутной окорке имеет навеска с сит диаметрами 10 и 5 мм, что составляет в среднем 51,2 и 33,4%, затем поддон с 9,8%, далее сито с $d=20$ мм, с 5,3%. Древесные частицы в виде вытянутых нитей максимальной длиной до 30 мм и толщиной до 2 мм составляли в среднем 0,2%, и находились на ситах с минимальным диаметром, и поддоне. Так же заметно, что особо крупные элементы коры имеются, задерживаются на 1 сите только в первых 4 наблюдениях и составляют 0,1%. В последних пяти наблюдениях данные элементы отсутствуют, и мы считаем, что это связано с технологическим фактором – уменьшением величины подачи на один удар.

Полученные результаты по фракционному составу элементов коры ели после встречной окорки второй группы опытов показаны в приложении Г., таблице Г 2. Анализируя значения представленной таблицы, мы можем заметить следующее. Большую часть элементов коры ели при встречной окорке имеет навеска с сит диаметрами 10 и 5 мм, что составляет в среднем 47,2 и 33,9%, затем поддон с 10,2%, далее сито с $d=20$ мм, с минимальным значением 2,6%. Древесные частицы в виде вытянутых нитей максимальной длиной до 60 мм и толщиной до 3 мм составляли в среднем 5,1%, и находились на ситах со средними и малым диаметрами отверстий. Так же заметно, что особо крупные элементы коры задерживаются на 1 сите и во всех наблюдениях составляют 1,0%.

Полученные результаты по фракционному составу элементов коры пихты после попутной окорки второй группы опытов показаны в приложении Г., таблице Г 3. Из представленной таблицы, мы видим следующее. Большую часть элементов коры пихты при попутной окорке имеет навеска с сит диаметрами 10 и 5 мм, что составляет в среднем 55,4 и 30,5%, затем поддон с 8,9%, далее сито с $d=20$ мм, с 4,8%. Древесные частицы в виде вытянутых нитей длиной до 30 мм и толщиной до 2 мм составляли в среднем 0,2%, и находились на ситах со средними и малыми диаметрами. Так же заметно что, элементы коры задерживаются на 1 сите с

$d=30$ мм, только в первых четырех наблюдениях составляют 0,2% и отсутствуют в последних пяти наблюдениях.

Полученные результаты по фракционному составу элементов коры пихты после встречной окорки второй группы опытов показаны в приложении Г., таблице Г4. Здесь также наблюдается большая доля элементов коры пихты с сит с диаметрами 10 и 5 мм, что составляет в среднем 46,5 и 36,4%, затем поддон с 9,3%, далее сито с $d=20$ мм, с 3,1%. Древесные частицы в виде вытянутых нитей максимальной длиной до 50 мм и толщиной до 3 мм составляли в среднем 3,8%, и находились на ситах со средними и малым диаметрами отверстий. Так же заметно что, особо крупные элементы коры задерживаются на 1 сите с $d=30$ мм, во всех наблюдениях составляют 0,9%.

По результатам анализа экспериментальных исследований окорки второй группы опытов, можно подвести следующие итоги:

1) Полученные значения удельной работы окорки k значительно меньше, чем в первой группе опытов. Они находятся в диапазоне от 1,54 до 7,64 МДж/м³. Это объясняется увеличенной скоростью подачи, при которой происходят процессы взаимодействия с минимальными затратами энергии.

2) При аналогичных условиях окорки значения k у ели меньше, чем у пихты в среднем на 16 %.

3) При одинаковых условиях удельная работа попутной окорки на 25 % меньше, чем у встречной. Это полностью подтверждает выводы, сделанные в теоретической части и говорит о правильности предложенной математической модели.

4) С увеличением скорости подачи k уменьшается примерно в 2-3 раза. Причем при попутной подаче уменьшение до 10 % больше, по сравнению со встречной подачей.

5) При увеличении линейной скорости цепа k увеличивается примерно в 1,5-2 раза. Причем при попутной подаче увеличение в среднем на 15 % больше, по сравнению с встречной подачей.

б) Частицы отлетевшей коры в результате окорки как пихты, так и ели гораздо крупнее по сравнению с первой группой опытов. Основной объем частиц коры составляют элементы с размерами 5-10 мм. Самые крупные единичные частицы коры имели вид полосы с размерами до 50 x 10 мм и встречаются редко.

7) Механических повреждений, вырывов и мшистости волокон поверхности образца снижающих товарный вид лесоматериалов не наблюдается.

4.2.2 Математическая обработка результатов экспериментов второй группы опытов

Математическая обработка результатов экспериментов заключается в проведении статистических исследований полученных данных. Необходимо определить статистические закономерности, влияющие на энергоемкость цеповой окорки свежесрубленных еловых и пихтовых лесоматериалов. Уровни варьирования факторов окорки приведены в таблице 4.6. Каждый из 18 опытов повторялся 4 раза. Общее число наблюдений – 72, взятых выборками из предыдущих опытов отдельно для пихты и ели. Удельная работа окорки рассчитывалась как произведение длительности процесса (сек) на разницу показаний рабочего и холостого ходов (Вт), отнесенное к объему снятой коры (куб.м), Дж/м³ [62, 63, 64]. Обработка экспериментальных данных проводилась общепринятыми в математической статистике методами [41]. Расчеты проводились в табличном процессоре Excel.

Таблица 4.6 – Исследуемые факторы окорки и уровни их варьирования.

Обозначение фактора	Наименование фактора	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
			1	2	3
1	Линейная скорость вращения, $V_{\text{лин}}$ м/с	37,7 – 47,1	37,7	42,4	47,1
2	Скорость подачи, $U_{\text{под}}$ м/с	0,48 – 0,88	0,48	0,68	0,88
3	Вид подачи	Попутная/ /встречная	Попутная/ /встречная	Попутная/ /встречная	Попутная/ /встречная

На рисунках 4.15 и 4.16 представлены эмпирические и теоретические (нормальные) интегральные функции распределения отклонения удельной работы окорки пихты от средних значений [68, 71]. Проверка гипотезы нормальности эмпирического распределения критериям согласия Фрочини [41] (0,25 – при попутной подаче и 0,27 – при встречной подаче меньше критического значения (0,28)).

Применение критерия Кохрена показало, что гипотеза однородности дисперсий экспериментов не отклоняется при 5% уровне значимости (расчетное значение (0,32 – при попутной подаче, 0,35 – при встречной подаче) меньше критического значения (0,40)). Точность экспериментов оценивается дисперсией воспроизводимости $S_{\text{вс}}^2 = 0,090$ - при попутной подаче и 0,073 – при встречной подаче с числом степеней свободы $f_{\text{вс}} = 27$.

Ошибка воспроизводимости экспериментов $S_{\text{вс}} = 0,30$ – при попутном движении и 0,27 – при встречном движении.

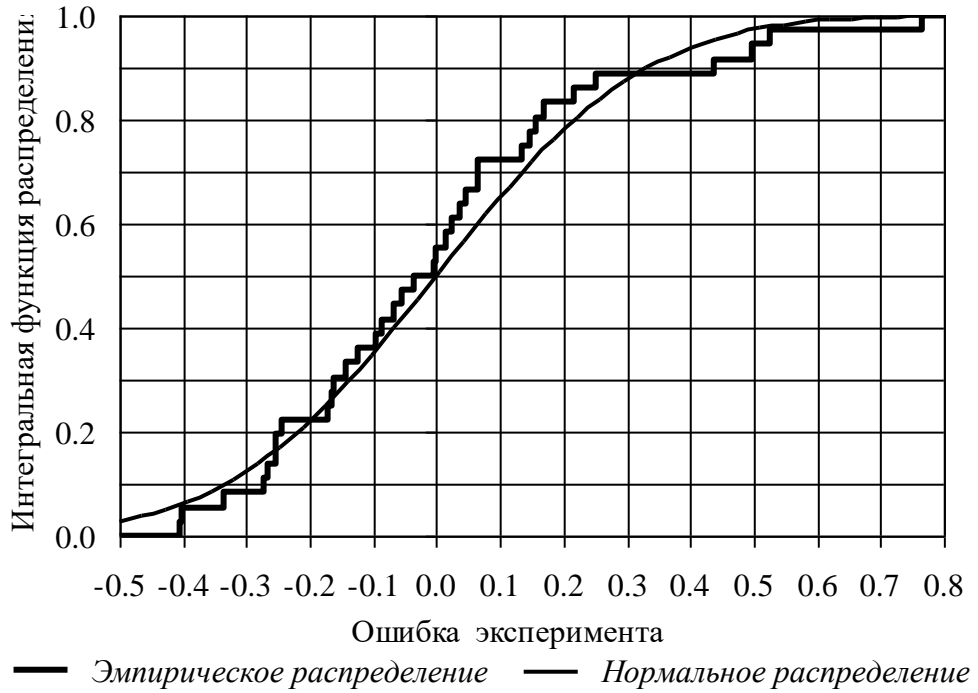


Рисунок 4.15 – Интегральные функции распределения отклонений удельной работы окорки пихты от средних значений при попутной подаче

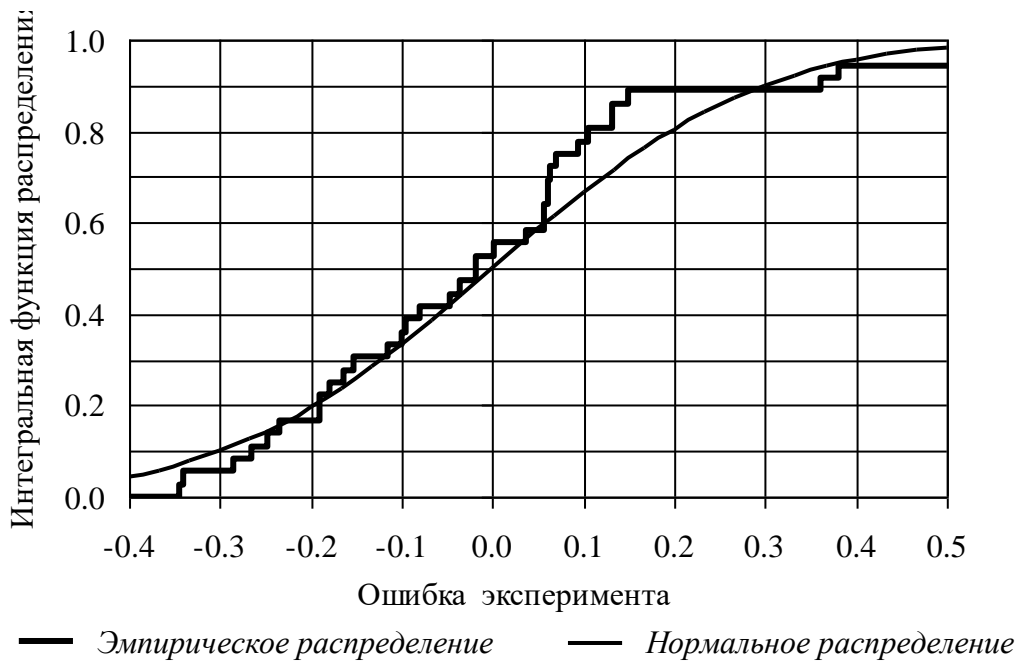


Рисунок 4.16 – Интегральные функции распределения отклонений удельной работы окорки пихты от средних значений при встречной подаче

Матричным методом наименьших квадратов получены следующие регрессионные модели второго порядка зависимости удельной работы окорки пихты ЦРО (рисунки 4.17 и 4.18):

- при попутной подаче:

$$Y_{II}^{nop} = -14,77 + 9,31 \cdot V_{лин} - 4,33 \cdot U_{под} - 0,78 \cdot V_{лин}^2 + 5,3 \cdot U_{под}^2 - 2,18 \cdot V_{лин} \cdot U_{под} ; \quad (4.1)$$

- при встречной подаче:

$$Y_{II}^{встр} = -6,72 + 6,42 \cdot V_{лин} - 9,42 \cdot U_{под} - 0,24 \cdot V_{лин}^2 + 14,44 \cdot U_{под}^2 - 4,22 \cdot V_{лин} \cdot U_{под} . \quad (4.2)$$

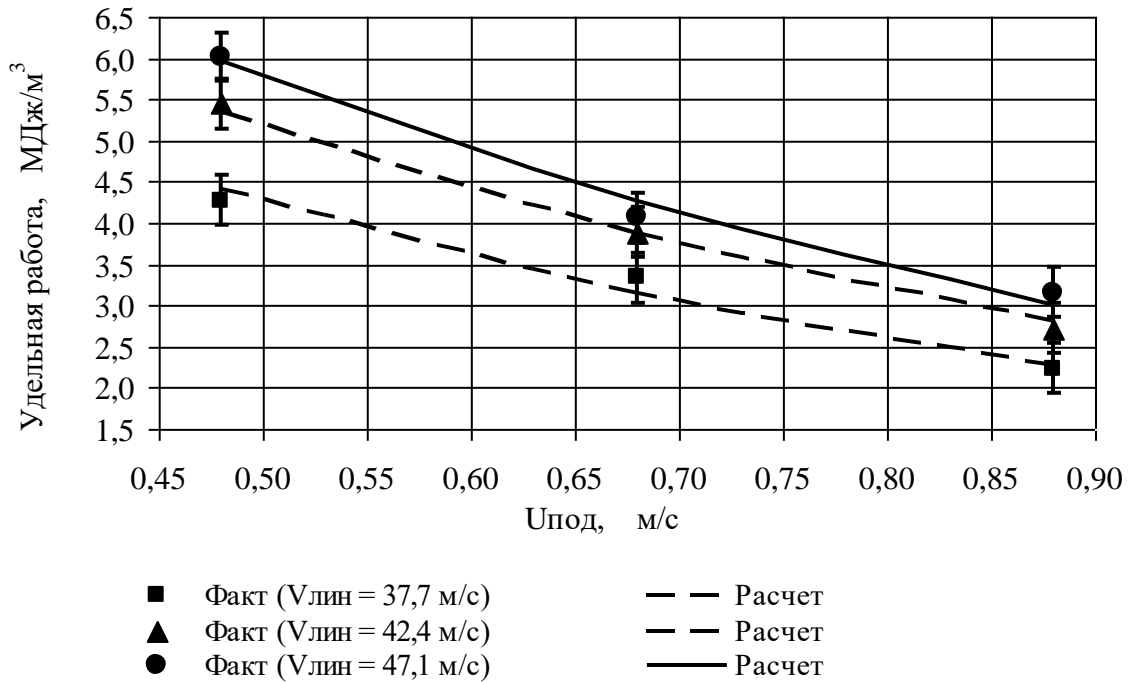


Рисунок 4.17 – Экспериментальные и расчетные значения удельной работы окорки пихты при попутной подаче

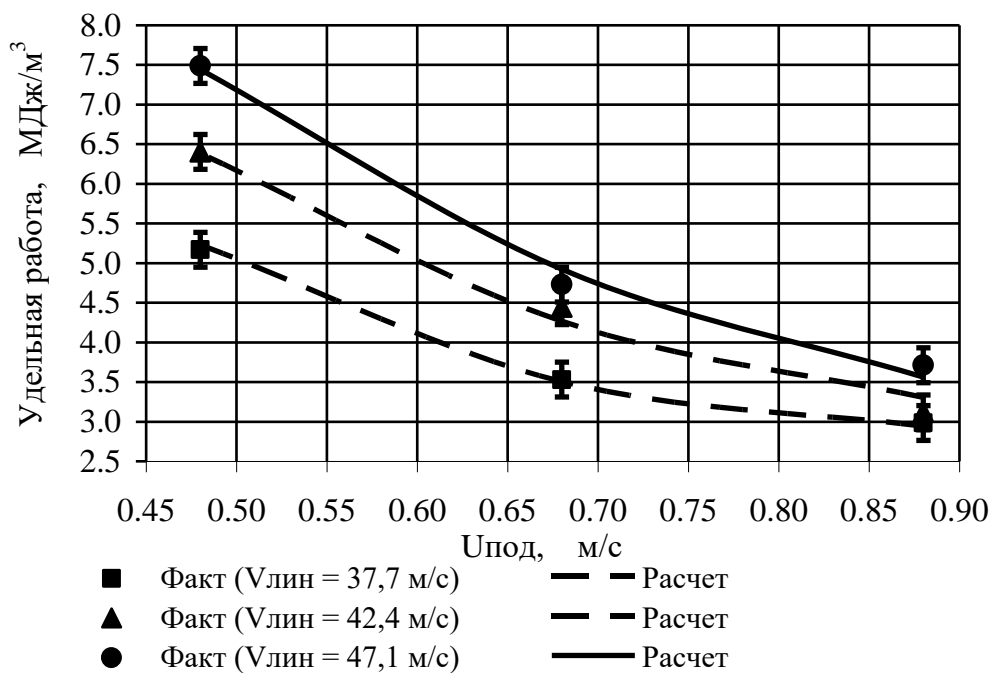


Рисунок 4.18 – Экспериментальные и расчетные значения удельной работы окорки пихты при встречной подаче

На рисунках 4.19 и 4.20 представлены линии равного уровня удельной работы окорки пихты в зависимости от линейной скорости вращения ($V_{лин}$) и скорости подачи ($U_{под}$).

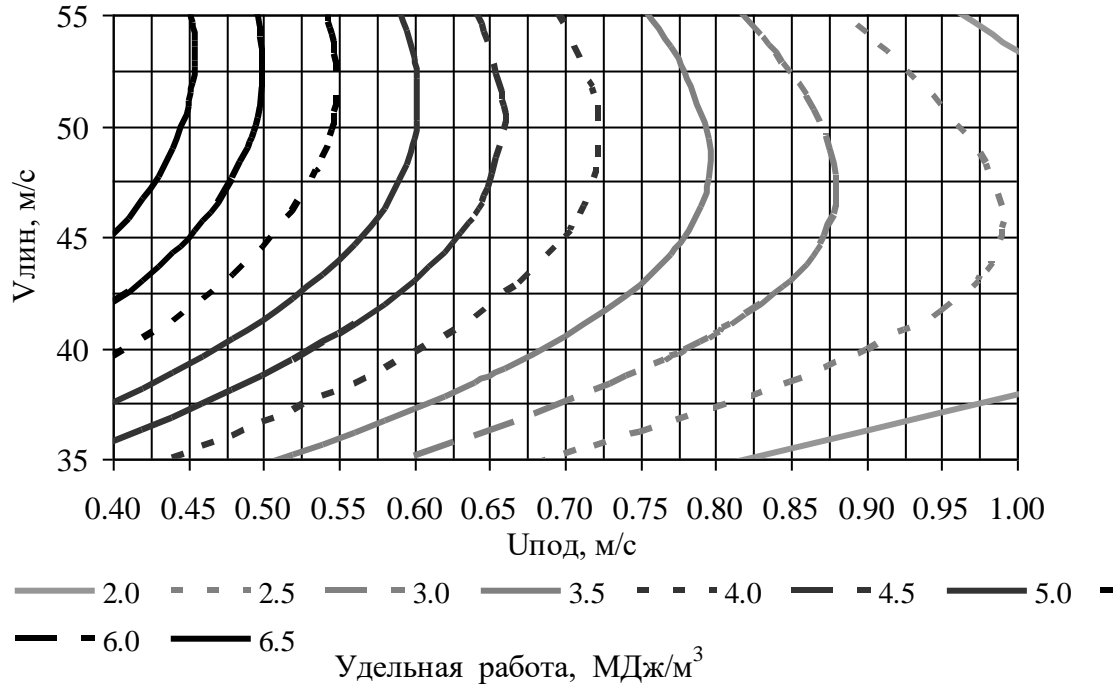


Рисунок 4.19 – Линии равного уровня удельной работы окорки пихты в зависимости от линейной скорости вращения ($V_{лин}$) и скорости подачи ($U_{под}$) при попутной подаче

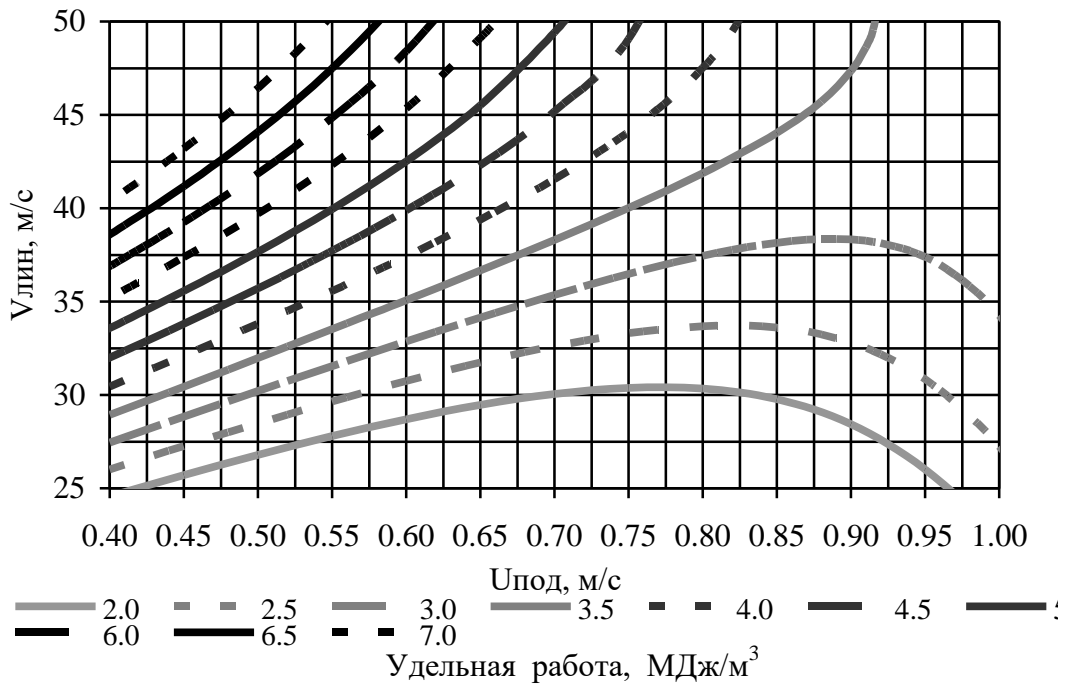


Рисунок 4.20 – Линии равного уровня удельной работы окорки пихты в зависимости от линейной скорости вращения ($V_{лин}$) и скорости подачи ($U_{под}$) при встречной подаче

Гипотеза адекватности моделей экспериментальным данным не отвергается при 5%-м уровне значимости (расчетное значение критерия Фишера (2,18 – при попутной подаче и 2,45 – при встречной подаче) меньше критического значения (2,96)). Стандартная ошибка модели $S_m = 0,22$ – при попутной подаче и 0,21 – при встречной подаче. Коэффициент детерминации моделей $R^2 = 0,988$ – при попутной подаче и 0,993 – при встречной подаче.

На рисунках 4.21 и 4.22 представлены эмпирические и теоретические (нормальные) интегральные функции распределения отклонения удельной работы окорки ели от средних значений [68, 71]. Проверка гипотезы нормальности эмпирического распределения критериям согласия Фроцини [42] (0,21 – при попутной подаче и 0,17 – при встречной подаче меньше критического значения (0,28)).

Применение критерия Кохрена показало, что гипотеза однородности дисперсий экспериментов не отклоняется при 5% уровне значимости (расчетное значение (0,39 – при попутной подаче, 0,28 – при встречной подаче) меньше критического значения (0,40)). Точность экспериментов оценивается дисперсией воспроизводимости $S_{bc}^2 = 0,026$ - при попутной подаче и 0,048 – при встречной подаче с числом степеней свободы $f_{bc} = 27$. Ошибка воспроизводимости экспериментов $S_{bc} = 0,16$ – при попутном движении и 0,22 – при встречном движении.

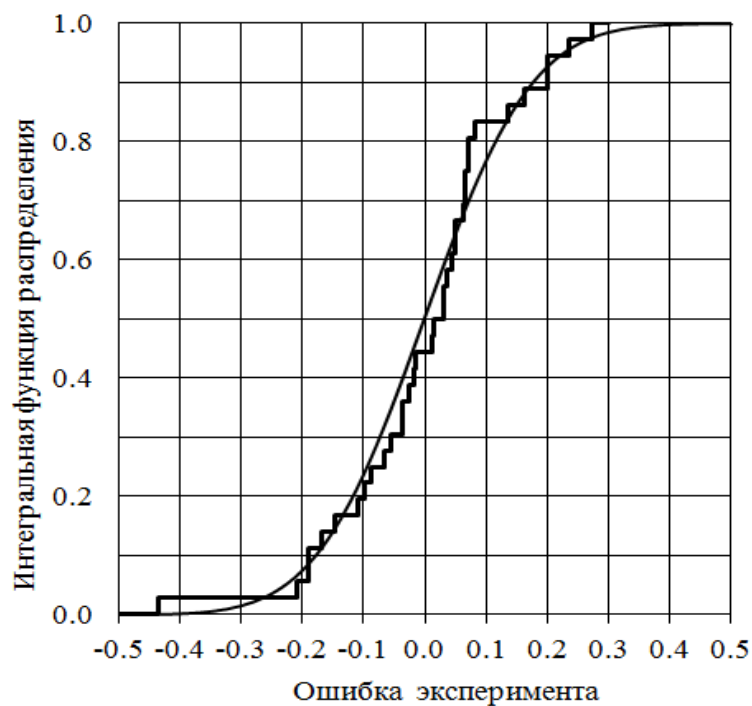


Рисунок 4.21 – Интегральные функции распределения отклонений удельной работы окорки ели от средних значений при попутной подаче

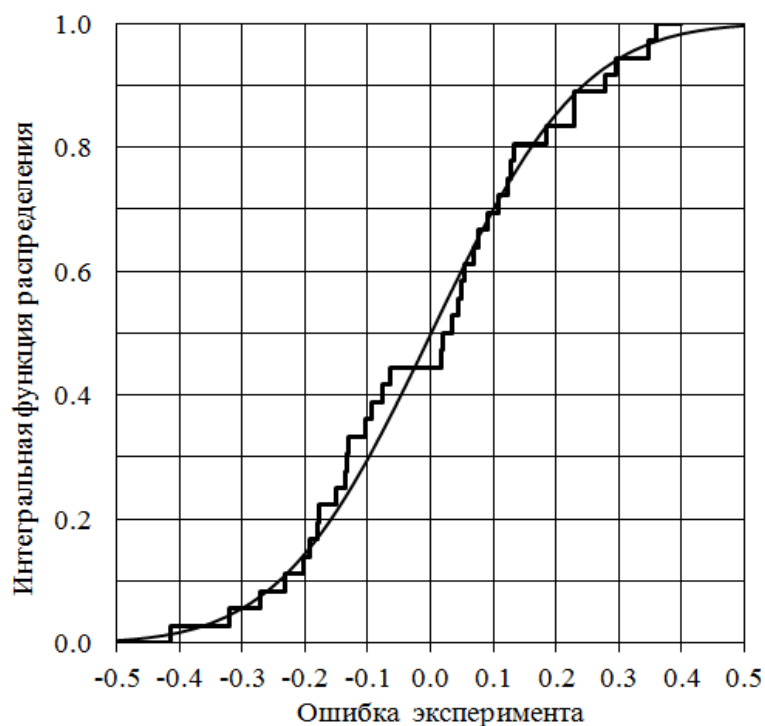


Рисунок 4.22 – Интегральные функции распределения отклонений удельной работы окорки ели от средних значений при встречной подаче

Матричным методом наименьших квадратов получены следующие регрессионные модели второго порядка зависимости удельной работы окорки ели ЦРО (рисунки 4.23 и 4.24):

- при попутной подаче:

$$Y_E^{\text{Поп}} = 1,37 + 0,138 \cdot V_{\text{лин}} - 6,21 \cdot U_{\text{П}} + 0,0002 \cdot V_{\text{лин}}^2 + 1,96 \cdot U_{\text{под}}^2 - 0,038 \cdot V_{\text{лин}} \cdot U_{\text{под}}; \quad (4.3)$$

- при встречной подаче:

$$Y_E^{\text{Встр}} = 12,97 - 0,232 \cdot V_{\text{лин}} - 15,96 \cdot U_{\text{П}} + 0,0053 \cdot V_{\text{лин}}^2 + 9,5 \cdot U_{\text{под}}^2 - 0,085 \cdot V_{\text{лин}} \cdot U_{\text{под}}. \quad (4.4)$$

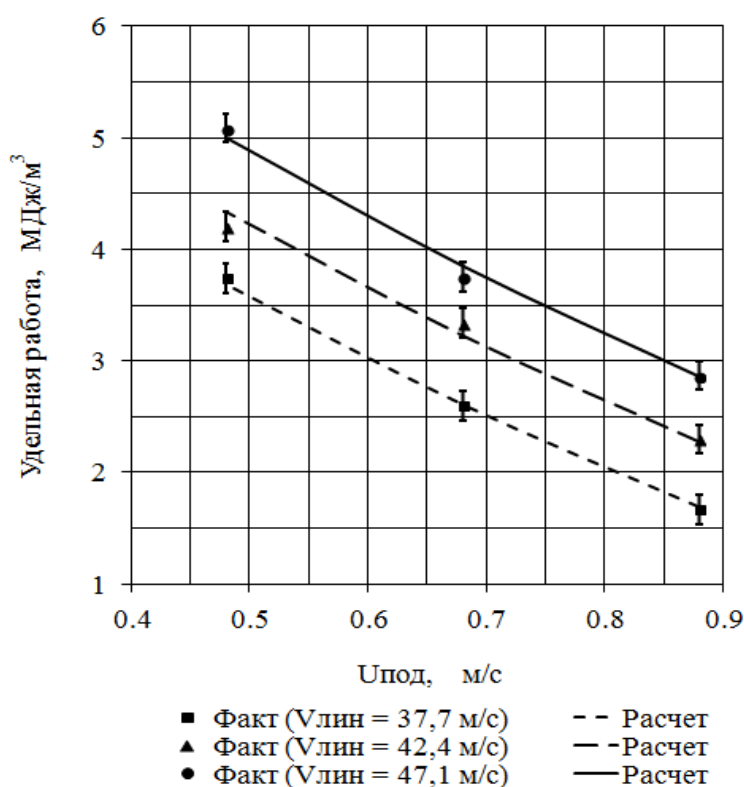


Рисунок 4.23 – Экспериментальные и расчетные значения удельной работы окорки ели при попутной подаче

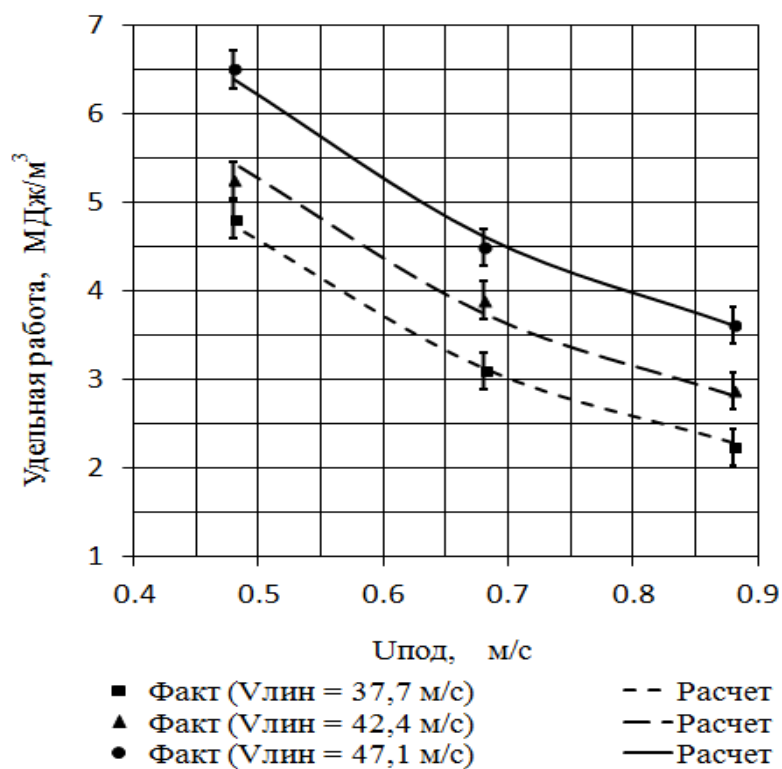


Рисунок 4.24 – Экспериментальные и расчетные значения удельной работы окорки ели при встречной подаче

На рисунках 4.25 и 4.26 представлены линии равного уровня удельной работы окорки ели в зависимости от линейной скорости вращения ($V_{\text{лин}}$) и скорости подачи ($U_{\text{под}}$)

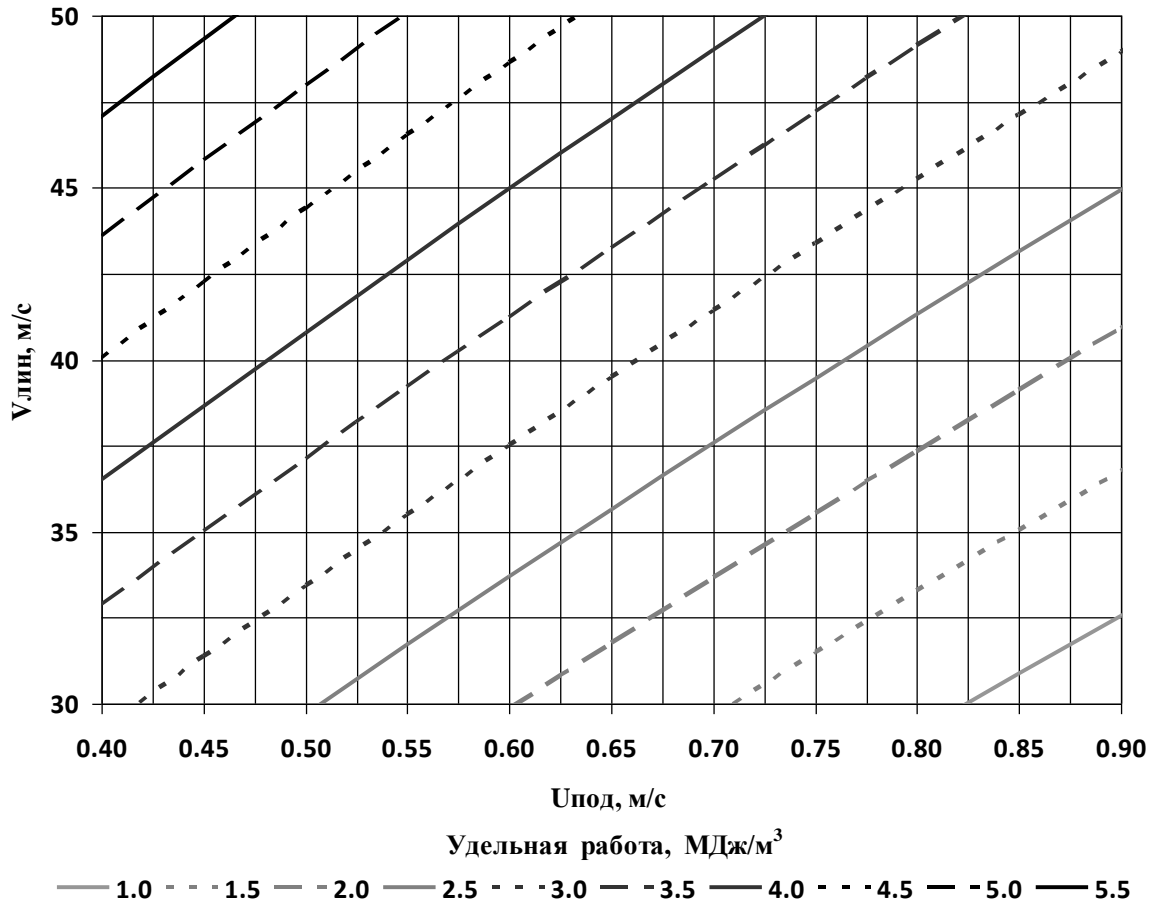


Рисунок 4.25 – Линии равного уровня удельной работы окорки ели в зависимости от линейной скорости вращения ($V_{\text{лин}}$) и скорости подачи ($U_{\text{под}}$) при попутной подаче

Гипотеза адекватности моделей экспериментальным данным не отвергается при 5%-м уровне значимости (расчетное значение критерия Фишера (2,72 – при попутной подаче и 2,70 – при встречной подаче) меньше критического значения (2,96)). Стандартная ошибка модели $S_m = 0,13$ – при попутной подаче и 0,18 – при встречной подаче. Коэффициент детерминации моделей $R^2 = 0,994$ – при попутной подаче и 0,993 – при встречной подаче.

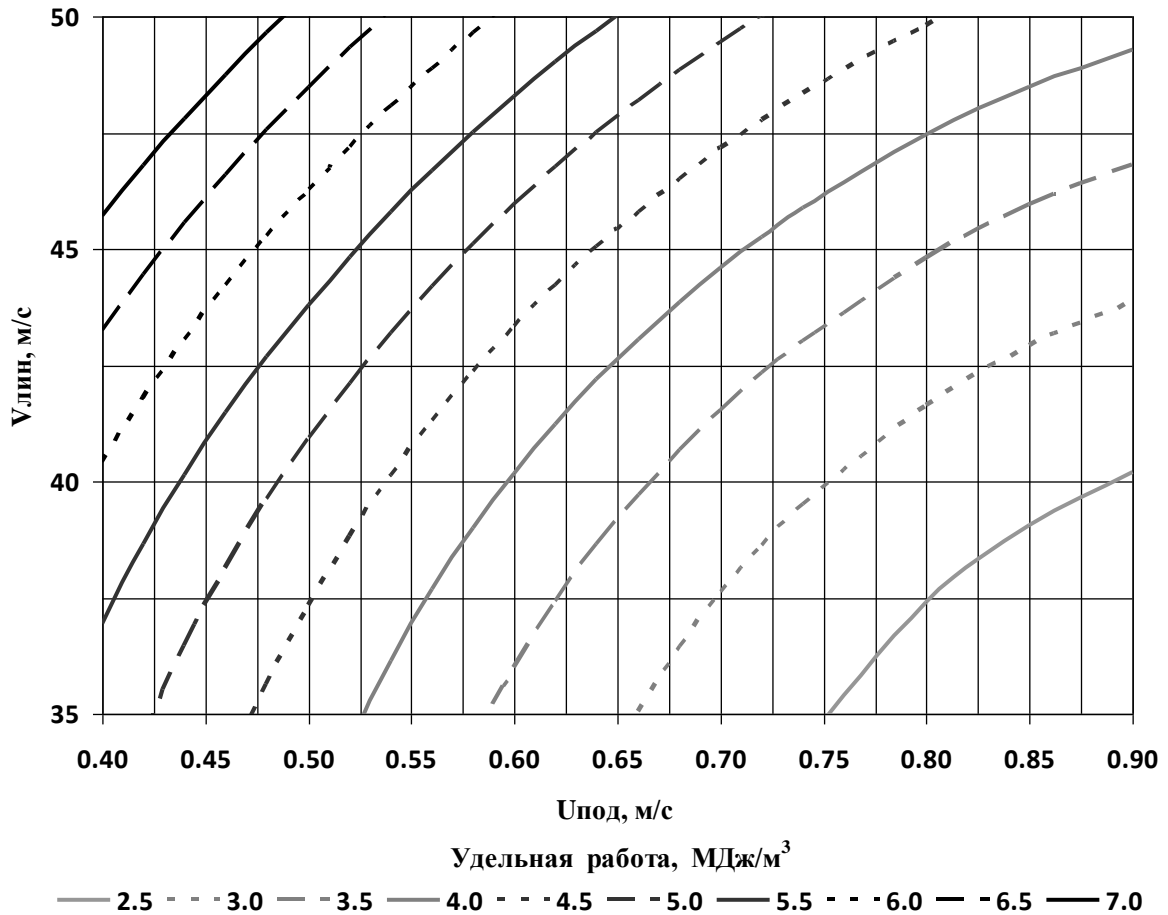


Рисунок 4.26 – Линии равного уровня удельной работы окорки ели в зависимости от линейной скорости вращения ($V_{\text{лин}}$) и скорости подачи ($U_{\text{под}}$) при встречной подаче

Выводы. На основе статистической обработки экспериментальных данных по окорке свежесрубленных пихтовых и еловых сегментных лесоматериалов данных были определены матричным методом наименьших квадратов адекватные эксперименту регрессионные модели второго порядка функциональной зависимости между энергоемкостью и режимными параметрами цеповой окорки при попутной подаче и встречной подачах и получены:

- графики экспериментальных и расчетных значений зависимости удельной работы от скорости подачи при попутном и встречном направлении, показавшие сходимость результатов, что говорит об адекватности расчетов и полученных результатов [67, 68, 71].

- линии равного уровня зависимости удельной работы от линейной скорости вращения, скорости и направления подачи, позволяющие проектировать режимные параметры окорочных станков.

Выполненные исследования дали возможность установить устойчивые статистические закономерности между режимными параметрами $V_{лин}$ и $U_{под}$, которые позволяют получить зависимость изменения удельной работы в зависимости от скорости подачи и линейной скорости вращения цепов. Данные исследования позволяют решать прикладные задачи обоснования параметров и режимов работы при разработке цеповых окорочных станков.

4.3 Определение скорости подачи при наименьшей удельной работе цеповой окорки

Анализ зависимости удельной работы окорки от скорости подачи показывает, что дальнейшее увеличение её даёт еще меньшее значение затрат энергии. Экспоненциальный характер кривых говорит, что должен существовать определенный минимум значений удельной работы [65]. Что бы его определить и узнать при какой скорости продвижения он наступит, мы сделали следующее. Были выбраны наиболее характерные кривые, описывающие это процесс. Наиболее близкими оказались параболы, представленные графически (рисунки 4.27, 4.28 и 4.29).

Задача заключалась в нахождении аналитической функции, аппроксимирующей табличную наилучшим образом, для определения минимального значения удельной работы окорки и соответствующего значения скорости подачи лесоматериала. Аналитически были рассмотрены и сравнены результаты следующих аппроксимаций: линейной, квадратичной, экспоненциальной и кубической функций.

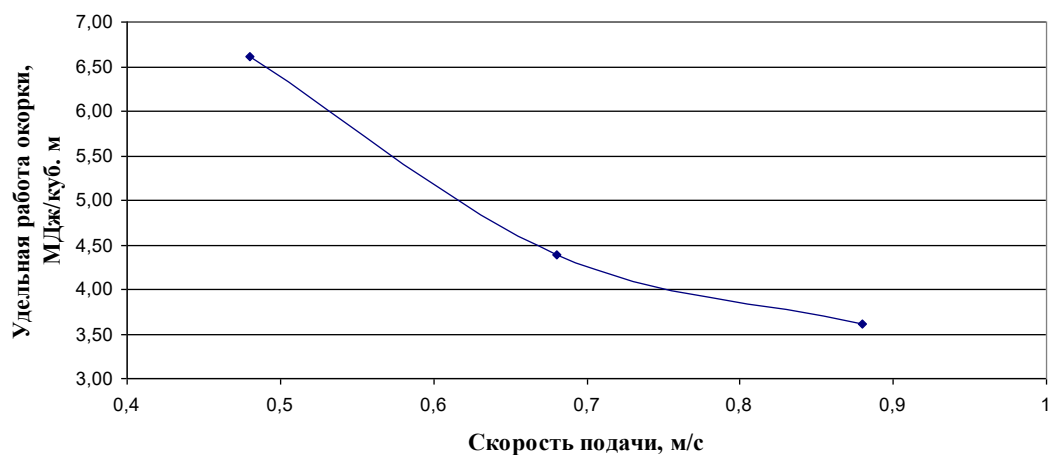


Рисунок 4.27 - Зависимость удельной работы окорки ели от скорости встречной подачи, при вращении конечного звена цепи с линейной скоростью 47,1 м/с

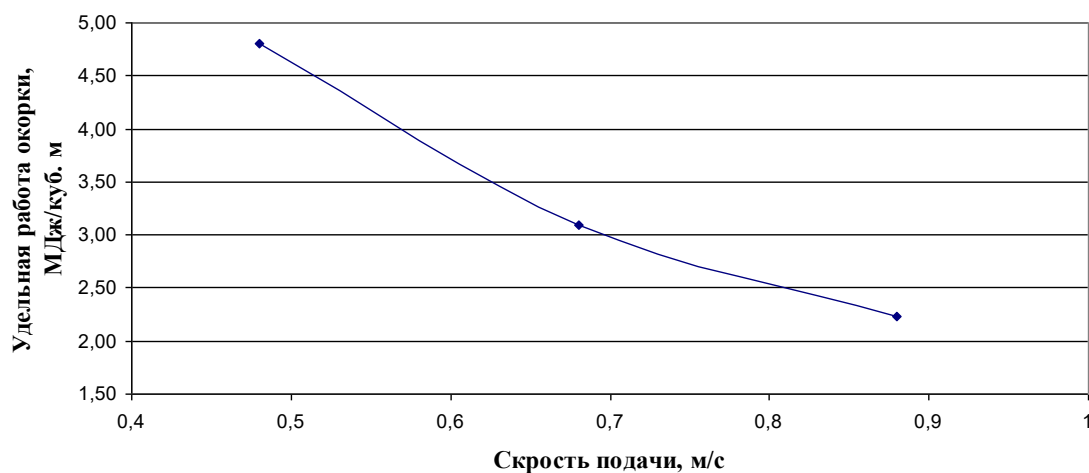


Рисунок 4.28 - Зависимость удельной работы окорки ели от скорости встречной подачи, при вращении конечного звена цепи с линейной скоростью 37,7 м/с

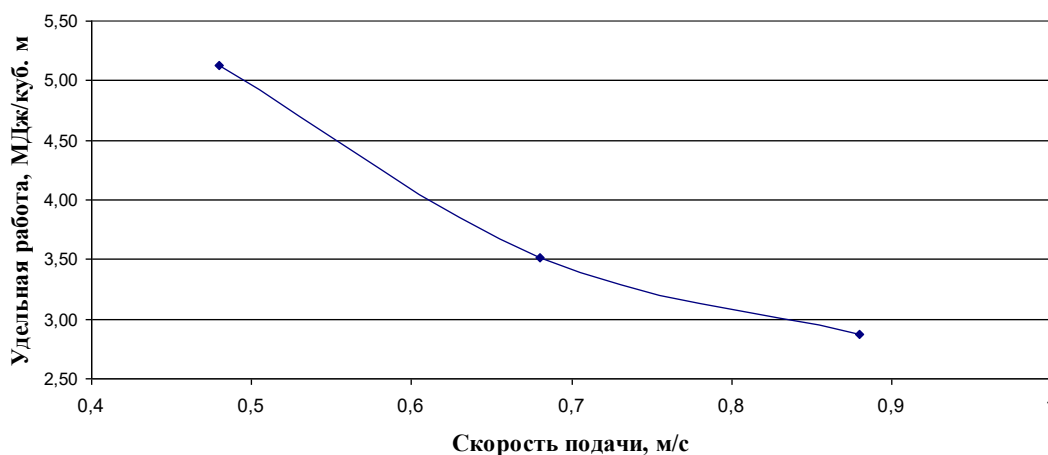


Рисунок 4.29 - Зависимость удельной работы окорки ели от скорости попутной подачи, при вращении конечного звена цепи с линейной скоростью 47,1 м/с

Полученные зависимости при всех видах функций для линейной скорости 37,7 м/с при встречной подаче лесоматериала, дали следующий результат.

Для линейной функции

$$k = -6,431u + 7,753$$

Для квадратичной

$$k = 10,6u^2 - 20,849u + 12,373;$$

Для кубической

$$k = 7,542u^3 - 4,792u^2 - 10,678u + 10,203;$$

Для экспоненциальной

$$k = 2,173e^{0,211u} - 1,17 .$$

Графики функций представлены ниже (рисунок 4.30). Главным критерием при выборе функции была ошибка (в узловых точках), полученная по методу наименьших квадратов. Для линейной она составила 0,12, для экспоненциальной – 0,014, для полиномиальных функций 2-го и 3-го порядка ошибка была очень мала (порядок 10^{-8} и 10^{-10}), но так как кубическая функция при незначительном возрастании скорости (аргумента) (при $u = 3$,

значение $k=158$) возрастает слишком быстро, поэтому в качестве аналитической функции была выбрана квадратичная. Математическая обработка экспериментальных данных, произведенная в табличном процессоре Excel, дала следующие уравнения регрессии:

- встречная подача, при вращении конечного звена цепи с линейной скоростью 47,1 м/с

$$k = 18,199u^2 - 32,239u + 17,889;$$

- попутная подача, при аналогичных условиях

$$k = 12,039u^2 - 22,004u + 12,911;$$

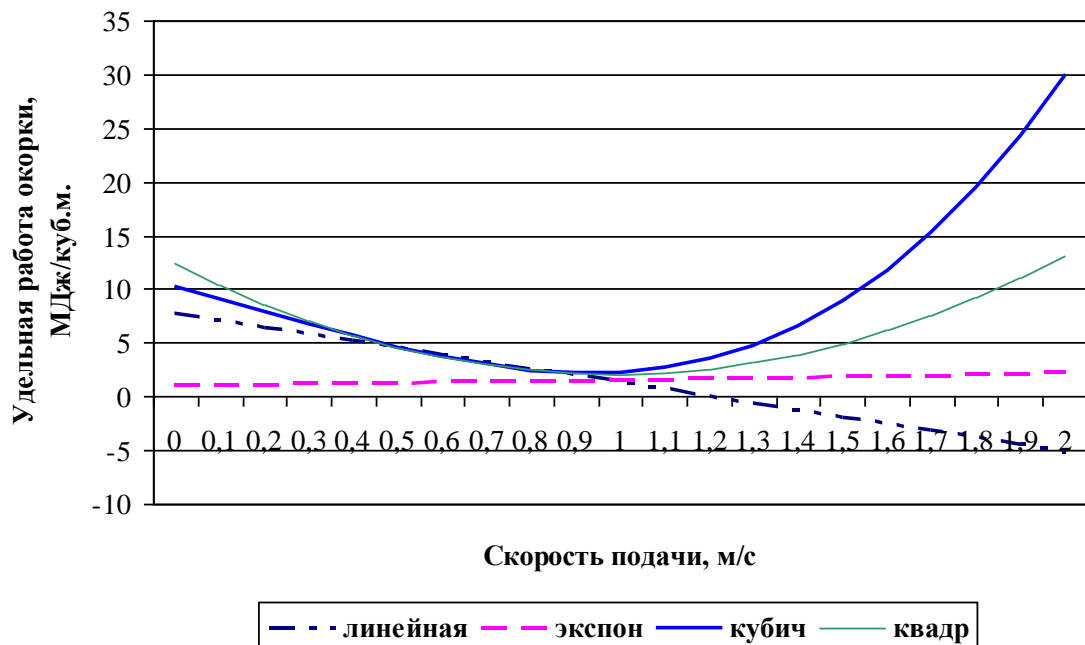


Рисунок 4.30 - Зависимости аналитических функций удельной работы от скорости встречной подачи, при вращении конечного звена цепи с линейной скоростью 37,7 м/с

Аппроксимация динамического ряда показателя удельной работы окорки позволила определить минимумы этих функций (рисунок 4.30). Они составили 0,88; 0,98 и 0,91 м/с соответственно.

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что значение удельной работы окорки в процессе обработки лесоматериала изменяется по убывающей при малых скоростях подачи, а после значения скорости в среднем равного 0,92 м/с идет по возрастающей ветви параболы. Минимум значения удельной работы окорочного инструмента будет в точке экстремума параболы. Соответственно можно предположить, что рациональной скорости подачи будет соответствующее значение по оси абсцисс. В нашем случае, конкретным значением скорости подачи является в среднем 1 м/с. Таким образом, на основе обработки результатов экспериментов по предложенной методике рекомендуем для данных условий скорость подачи равную 0,92 м/с., как рациональную, дающую минимальные затраты энергии на окорку. Они составляют от 2,1 до 3,6 МДж/м³ [64].

4.4 Сравнительный расчет энергетической эффективности способов окорки

Для обоснования области применения цеповой окорки необходимо знать сравнение различных параметров. В таблице 4.7 приведены значения удельной работы различных технологий окорки. Данные показатели удельной работы усреднены и взяты из литературы, а удельная работа цеповой окорки по результатам проведенных опытов. В последующих столбцах таблицы показаны затраты электроэнергии на окорку одной тысячи кубометров древесины и сравнительный расчет увеличения затрат по сравнению с цеповой окоркой. Значения в таблице показывают что, предлагаемый способ цеповой окорки темнохвойных пород (ель, пихта) имеет минимальные энергетические затраты по сравнению с другими способами окорки. Таким образом, цеповая окорка экономит энергетические и финансовые ресурсы.

Полученная после окорки кора не имеет примесей и не требует дополнительного измельчения, поэтому может служить сырьем для лесохимической промышленности и получения удобрений в сельском хозяйстве. Тем самым, в этих отраслях сокращаются затраты на подготовку сырья для переработки.

При использовании станка с ЦРО при обработке длинномерных лесоматериалов в целлюлозно-бумажном производстве отпадает необходимость в распиловке сырья на короткомерные чураки, что также сокращает затраты на подготовку сырья и увеличивает выход полезной продукции. Заметно, что экономия сопутствующих компонентов производства, а так же сокращение затрат на подготовку сырья увеличат экономический эффект от применения окорочных станков с ЦРО. Приведенный ниже расчет не отражает полного экономического эффекта от применения окорочного станка с ЦРО.

Таким образом, получение экономического эффекта от применения на окорке круглых лесоматериалов установок с ЦРО возможно по нескольким направлениям:

- за счет уменьшения энергетических затрат на процесс цеповой окорки;
- за счет увеличения производительности окорочной установки, уменьшения количества основных рабочих;
- за счет уменьшения капиталовложений (сокращения объёма строительно-монтажных работ);
- за счет уменьшения суммы расходов на подготовительные и вспомогательные работы;
- за счет сокращения потерь деловой древесины в виде отходов окорки и получения коры в измельченном виде, что не требует ее дополнительной подготовки для дальнейшей переработки.

Таблица 4.7 - Результаты сравнительного расчета энергетической эффективности технологий окорки

Способ окорки	Вид окорочной технологии	Удельная работа, МДж/м ³	Уд. расход эл. энергии, кВт·ч/м ³	Затраты на окорку 1 тыс. м ³ древесины		Соотношение затрат по сравнению с цеповой окоркой, %
				Энергия, МДж	Эл. энергия, кВт·час	
Режущий	Ножевая	10,9	3,0	10900	3027,8	165
	Дисковая	15,0	4,2	15000	4166,7	227
Фрикционный	Роторная	8,4	2,3	8400	2333,3	127
	Барабанная	11,1	3,1	11100	3083,3	168
Ударный	Цеповая	6,6	1,8	6600	1833,3	100

4.5 Выводы по главе 4

1. Полученные по результатам первой группы опытов значения удельной работы - k окорки лесоматериалов ели и пихты при одинаковых технологических параметрах имеют разброс величин от 46 до 247 МДж/м³. Традиционные способы окорки: ножевой k - 10-12; продольное фрезерование k - 15-17; дисковое фрезерование k - 11,2–22,5; роторная окорка k - 6,5-7,2 МДж/м³. Сравнительный анализ показывает, что излишняя удельная работа ЦРО идет на сильное измельчение коры и трение цепов по уже окоренным участкам. И происходит это из-за малой скорости надвигания.

2. Полученные по результатам второй группы опытов показали, что значения k до 20 раз меньше, чем при окорке в первой группе опытов (диапазон от 1,54 до 7,64 МДж/м³). Частицы отлетевшей коры в результате окорки гораздо крупнее, по сравнению с первой группой опытов. Это объясняется увеличенной скоростью подачи, при которой происходит процесс взаимодействия с минимальными затратами энергии.

3. При одинаковых условиях k попутной окорки на 25 % меньше, чем у встречной.

4. Экспериментальные исследования показали, что математическое описание процесса окорки ЦРО достоверно отражает затраты энергии возникающие при обработке; расхождение не превышает 7 %, что позволяет сделать вывод об адекватности математической модели и достоверности полученных результатов. Применение математической модели процесса цеповой окорки позволяет определить затраты энергии на обработку при конкретных технологических условиях.

5. На основе статистической обработки экспериментальных данных определены адекватные эксперименту регрессионные модели зависимости между энергоемкостью и режимными параметрами при попутной и встречной подачах. Получены: графики экспериментальных и расчетных

значений зависимости удельной работы от скорости подачи при попутном и встречном направлении, показавшие сходимость результатов, что говорит об адекватности расчетов и полученных результатов; линии равного уровня зависимости удельной работы от линейной скорости вращения, скорости и направления подачи, позволяющие проектировать режимные параметры окорочных станков.

Выполненные исследования дали возможность установить устойчивые статистические закономерности между режимными параметрами $V_{лин}$ и $U_{под}$, которые позволяют получить зависимость изменения удельной работы от скорости подачи и линейной скорости вращения цепов. Данные исследования позволяют решать прикладные задачи обоснования параметров и режимов работы при разработке цеповых окорочных станков.

6. Предложена методика, позволяющая рассчитать рациональную скорость подачи с минимальными затратами энергии на цеповую окорку.

7. Сравнительный анализ энергетической эффективности способов окорки доказал выгодность цеповой окорки, за счет экономии затрат на электроэнергию.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В процессе исследований получены следующие основные выводы и рекомендации:

1. Для проведения операции очистки от коры тонкомерных сортиментов и горбыльных досок перспективно применение окорочной технологии с цеповыми рабочими органами.

2. Разработанные математические модели взаимодействия цепов и коры обрабатываемой поверхности лесоматериала позволяют рассчитывать: кинематические соотношения взаимодействия; энергию удара цепов; энергоёмкость процесса; объем разрушенной и удаленной коры, что позволяет определять энергосберегающие режимы окорки и параметры цеповых рабочих органов.

3. Представлены обоснованные конструктивные схемы окорочного оборудования с цеповыми рабочими органами, учитывающие геометрические особенности формы горбыльных досок и тонкомерных сортиментов.

4. Экспериментально определены ранее неизвестные величины, характеризующие энергетические затраты цеповой окорки. Значения удельной работы цеповой окорки k оказались в диапазоне от 1,54 до 7,64 МДж/м³, что меньше чем у альтернативных технологий очистки от коры. Для сравнения значения k других технологий окорки составляют: у ножевой окорки - 10-12; продольном фрезеровании - 15-17; дисковом фрезеровании – 11,2 – 22,5; роторной окорке - 6,5-7,2 МДж/м³. Это говорит о том, что цеповая окорка является самой экономичной с точки зрения затрат энергии. Выполненный сравнительный расчет энергетической эффективности способов окорки позволяет сделать вывод о целесообразности внедрения цеповой окорки, поскольку она обеспечивает снижение энергоёмкости процесса в 2-5 раз по сравнению с другими способами окорки. Кроме того, цеповые окорочные станки имеют более простую конструктивную схему,

высокую производительность, не требуют дополнительной подготовки рабочих органов.

5. Экспериментальные исследования показали, что математическое описание процесса цеповой окорки лесоматериалов достоверно отражает затраты энергии, возникающие при выполнении операции, расхождение результатов экспериментальных значений удельной окорки от значений полученных по математической модели превышает 7 %. Это позволяет сделать вывод об адекватности математической модели и достоверности полученных результатов.

6. На основе статистической обработки экспериментальных данных по окорке свежесрубленных пихтовых и еловых лесоматериалов были определены регрессионные модели функциональной зависимости между энергоемкостью и режимными параметрами цеповой окорки при попутной и встречной подачах и получены: графики экспериментальных и расчетных значений зависимости удельной работы от скорости подачи при попутном и встречном направлении, показавшие сходимость результатов, что говорит об адекватности расчетов и полученных результатов; линии равного уровня зависимости удельной работы от линейной скорости вращения, скорости и направления подачи, позволяющие проектировать режимные параметры окорочных станков.

7. Выполненные исследования дали возможность установить статистические закономерности между режимными параметрами $V_{лин}$ и $U_{под}$, которые позволяют получить зависимость изменения удельной работы в зависимости от скорости подачи и линейной скорости вращения цепов. Данные исследования позволяют решать прикладные задачи обоснования параметров и режимов работы при разработке цеповых окорочных технологий.

8. В результате теоретических и экспериментальных исследований обоснованы энергосберегающие режимы цеповой окорки и параметры рабочих органов:

а) попутная подача менее энергоемка (в среднем на 20%) и имеет минимальное воздействие на обработанную поверхность древесины;

б) скорость подачи (надвигания) 0,9 – 1,5 м/с;

в) линейная скорость конечного звена цепи 38 м/с;

г) число рядов цепов на приводном валу – 4 шт., с размещением со смещением на радиус цепи по отношению к соседнему ряду (в шахматном порядке);

д) длина ряда цепов равняется максимальному значению обрабатываемой ширины (диаметра) лесоматериала;

е) производить окорку сортиментов только в области эффективных зон с четырех сторон при помощи четырех окорочных валов: двух вертикальных и двух горизонтальных;

ё) для обработки стволов различных диаметров и кривизны должна предусматриваться возможность изменения расстояния между осями валов, т.е. они должны иметь возможность перемещения в рабочих плоскостях.

9. Эксперименты показали, что применение цепового рабочего органа позволило получить степень окорки (97-99%) пластин свежесрубленных ели и пихты с минимальными потерями и повреждениями древесины. При этом отделенная в процессе обработки лесоматериала кора имеет измельченный вид и может использоваться как сырьё без дополнительной подготовки.

10. Материалы диссертационной работы могут быть использованы для создания и совершенствования конструкций окорочного оборудования с цеповыми рабочими органами, обеспечивающих выполнение требований к глубокой переработке древесины по энергосберегающим, безотходным технологиям.

Библиографический список

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Издательство Наука, 1976. – 278 с.
2. Алашкевич, Ю.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы / Ю.Д. Алашкевич // Курс лекций для студентов специальностей 170404, 030528 и 260304 всех форм обучения. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – 248 с.
3. Бершадский, А.Л. Резание древесины /А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова - Минск, «Высшая школа», 1975. - 303 с.
4. Бойков, С.П. Окорка круглых лесоматериалов / С.П. Бойков. – Л.: РИОЛТА, 1975. – 80 с.
5. Бойков, С.П. Теория процессов очистки древесины от коры / С.П. Бойков. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. - 152 с.
6. Бойков, С.П. Групповая окорка лесоматериалов. Лекции / С.П. Бойков. Л., РИО ЛТА, 1979. – 48 с.
7. Боровиков, А.М. Справочник по древесине: Справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть., 1989. - 296 с.
8. Бродский, В.З. Введение в факторное планирование эксперимента / В.З. Бродский. – М.: Наука, 1976. – 223 с.
9. Ванин, С.И. Древесиноведение. 3-е изд. / С.И. Ванин. – Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 581 с.
10. Васильев, А.С. Обоснование технических решений, повышающих эффективность режимов групповой окорки древесного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Васильев Алексей Сергеевич. – Петрозаводск, 2004. - 19 с.
11. Васильев, А.С. Обоснование технических решений, повышающих эффективность режимов групповой окорки древесного сырья:

дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Васильев Алексей Сергеевич. – Петрозаводск, 2004. - 148 с.

12. Васильев А.С. Круглые лесоматериалы как предмет труда при групповой окорке / А.С.Васильев // Инженерный вестник Дона. Вып. 4. Ростов-на-Дону, 2012. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1398>

13. Васильев, А.С. Проблемно-ориентированные исследования процессов групповой окорки древесины: монография [Текст] / А. С. Васильев. - Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. - 84 с.

14. Васильев, С.А., ДальНИИЛХ., Испытания окорочных круглозвенных цепей /С.А. Васильев - Лесная промышленность.– 1992. - №3

15. Веретенник, Д.Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве / Д.Г. Веретенник. - М.: Лесная промышленность, 1976. – 120 с.

16. Воевода, Д.К. Оборудование лесных складов: Учебник для техникумов / Д.К. Воевода, В.В. Назаров. - М.: Лесная промышленность, 1984. – 224 с.

17. Воевода, Д.К. Нижние склады. Справочник. / Алябьев В.И., Гончаренко Н.Т., Ласица М.Д., Манухин Г.Н., Назаров В.В., Сергиенко Ю.К., Симонов М.Н., Цибизов В. С., Югов В.Г. - М.: Лесная промышленность, 1972. – 288 с.

18. Воскресенский, С.А. Резание древесины / С.А. Воскресенский. – М. – Л.: Гослесбумиздат, 1955. – 200 с.

19. Газизов, А.М. Обоснование параметров оборудования для окорки хлыстов и полухлыстов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Газизов Асгат Мазхатович. – Химки, 1995. – 17 с.

20. Газизов, А.М. Совершенствование технологии роторной окорки лесоматериалов путем оптимизации основных параметров процесса: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.21.01 / Газизов Асгат Мазхатович. – Архангельск, 2011. – 40 с.

21. Гаспарян, Г.Д. Разработка и обоснование параметров установки для окорки лесоматериалов ультразвуком: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Гаспарян Гарик Давидович. – Братск, 2005. - 25 с.
22. Гаспарян, Г.Д. Методологические и технологические основы процесса окорки лесоматериалов ультразвуком: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.21.01 / Гаспарян Гарик Давидович. – М., 2014. - 35 с.
23. Гороховский, К.Ф. Машины и оборудование лесосечных и лесоскладских работ / К.Ф. Гороховский, Н.В. Лившиц // Учебное пособие для вузов. – М.: «Экология», 1991. – 528 с.
24. Гороховский, К.Ф. Основы технологических расчетов оборудования лесосечных и лесоскладских работ / К.Ф. Гороховский, Н.В. Лившиц // Учебное пособие для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 256 с.
25. ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия», с изм. № 1, 2. http://libgost.ru/gost/9082-GOST_15815_83.html (дата обращения 20.01.2015).
26. Гумерова, О.М. Совершенствование технологии окорки лесоматериалов резанием путем оптимизации основных параметров процесса: дисс. ... канд. тех. наук: 05.21.01 / Гумерова Оксана Михайловна. – Петрозаводск, 2011. - 159 с.
27. Гумерова, О.М. Совершенствование технологии окорки лесоматериалов резанием путем оптимизации основных параметров процесса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Гумерова Оксана Михайловна. – Петрозаводск, 2011. - 20 с.
28. Доспехова, Н.А. Совершенствование основных и вспомогательных технологических операций переработки древесины на щепу в дисковых рубительных машинах дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Доспехова Наталья Анатольевна. – Петрозаводск, 2015. - 130 с.
29. Житков, А.В. Оборудование складов лесоматериалов / А.В. Житков. - М.: Лесная промышленность, 1965. – 553 с.

30. Житков, А.В. Окорка древесины трением. Бумага и целлюлоза / А.В. Житков. - М.: ЦНТИТЭИлеспром, 1967.- 22 с.
31. Житков, А.В. Подготовка древесины к окорке тупыми инструментами замочкой в воде / А.В. Житков. - Л., ЦНИИЛесосплава, 1958. –162 с.
32. Житков, А.В. Утилизация древесной коры / А.В. Житков. – М: Лесн. пром-сть, 1985. – 136 с.
33. Житков, А.В. Хранение и подготовка древесного сырья в целлюлозно-бумажной промышленности / А.В. Житков, С.М. Мазарский. – М.: Лесн. промышленность, 1980. – 224 с.
34. Житков, А.В. Подготовка древесины для производства целлюлозы из древесной массы / А.В. Житков. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 133 с.
35. Залегаллер, Б.Г. Механизация и автоматизация работ на лесных складах / Б.Г. Залегаллер, П.В. Ласточкин. - М.: Лесн. пром-сть., 1965. - 439 с.
36. Ивановский, Е.Г. Фрезерование и пиление древесины и древесных материалов / Е.Г. Ивановский, П.В. Василевский, Э.М. Лаутнер. - М.: Лесная промышленность, 1971. – 96 с.
37. Кравченко, А.С. Обоснование параметров устройств чистовой окорки древесины щеточным инструментом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Кравченко Анатолий Сергеевич. – Минск, 1994. – 21 с.
38. Крисько, А.С. Повышение эффективности процесса окорки пиленных лесоматериалов гибкими рабочими органами: дис...канд. техн. наук: 05.21.01 / Крисько Алексей Сергеевич. – Красноярск, 2003. – 189 с.
39. Крисько, А.С. Повышение эффективности процесса окорки пиленных лесоматериалов гибкими рабочими органами: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.21.01 / Крисько Алексей Сергеевич. – Красноярск, 2003. – 20 с.

40. Крыщенко В.Н. Повышение конкурентоспособности путем применения многооперационных деревообрабатывающих машин - лесных комбайнов / В.Н. Крыщенко, Е.В. Палкин // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно-практическая конференция. Сборник статей студентов и молодых ученых. - Красноярск: СибГТУ, Том 1, 2009 С. 194-199.

41. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 816 с.

42. Комплект измерительный К540: Техническое описание и инструкция по эксплуатации 3.489.012ТО.

43. Кочанов, В.В. Учет потерь и отходов при производстве технологической щепы / В.В. Кочанов Леспромформ, 2004. – №5 (18). С. 74-77. <http://www.lesprom.spb.ru/arhiv/LPI18.pdf>

44. Курицын, В.Н. Экспериментальное определение коэффициента восстановления / Курицын В.Н., Гришин К.М., Коробкин А. В. // Проблемы химико-лесного комплекса: сб. ст. - Красноярск: КГТА, Часть 1: - 1997. - с. 173-177.

45. Курицын, В.Н. Основы расчета лесозаготовительного оборудования. Часть 2 / В.Н. Курицын, В.А. Лозовой. Методическое пособие. - Красноярск: СибГТУ: - 2005, 44 с.

46. Курицын, В.Н. Теоретические основы механической обработки мёрзлой древесины: монография / В.Н. Курицын. – Красноярск: СибГТУ, 2009. – 165 с.

47. Курицын В.Н. Определение мощности при цеповой окорке с малыми скоростями подачи / В.Н. Курицын, Е.В. Палкин // Лесозаготовка. межвузовский сборник научных трудов. - Красноярск: СибГТУ, 2004. - С. 173-177.

48. Куницкая, О.А. Обоснование направлений диверсификации обработки низкотоварной древесины на комплексных лесопромышленных предприятиях с использованием инновационных технологий: дис...канд.

техн. наук: 05.21.01 / Куницкая Ольга Анатольевна. – Екатеринбург, 2015. – 297 с.

49. Леонтьев, Н.Л. Техника испытаний древесины / Н.Л. Леонтьев. - М.: Лесная промышленность, 1970. – 100 с.

50. Лесопромышленный комплекс: Состояние, проблемы, перспективы / Н.А. Бурдин, В. М. Шлыков, В.А. Егорнов, В. В. Саханов. - М.: МГУЛ, 2000. - 473 с.

51. Лукин, А.Е. Повышение эффективности групповой окорки длинномерных лесоматериалов снижением потерь древесины и энергоемкости: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Лукин Александр Евгеньевич. – Архангельск, 2016. - 124 с.

52. Мальцев, Н.Ф. Новые сучкорезные и окорочные машины (обзор) / Н.Ф. Мальцев. – М., ВНИИПОЭИлеспром, 1977. – 24 с.

53. Мальцев, Н.Ф. Новые сучкорезные и окорочные машины (обзор) / Н.Ф. Мальцев. – М., ВНИИПОЭИлеспром, 1975. – 41 с.

54. Методика определения экономической эффективности использования в лесозаготовительной промышленности и на лесосплаве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений Минлесбумдревпромом СССР. М., 1979. - 339 с.

55. Мехренцев, А.В. Обоснование и выбор параметров универсального инструмента для круглогодичной окорки на роторных станках без предварительной тепловой подготовки лесоматериалов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Мехренцев Андрей Вениаминович. - Ленинград, 1984. - 196 с.

56. Никишов, В.Д. Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 264 с.

57. Окорка древесины (Пер. с англ.). Материалы ФАО, Форестри эквипмент ноутс. – М.: 1958. – 43 с.

58. Палкин, Е.В. Анализ способов окорки тонкомерной некондиционной древесины / Е.В. Палкин, Ю.П. Грязнов // Химико-лесной

комплекс - проблемы и решения: науч.-практ. конф. : сб. тез. докл. студентов и молодых ученых. - Красноярск. 2001. Т.1. - С. 248-250.

59. Палкин Е.В. Исследование толщины коры пихты и ели / Е.В. Палкин, Ю.П. Грязнов // Химико-лесной комплекс - проблемы и решения: всерос. науч.-практ. конф. (г. Красноярск, 11-12 апр. 2002 г.) : сб. ст. - Красноярск. СибГТУ, 2002. - С. 203-206.

60. Палкин Е.В. Кинематические соотношения при окорке гибкими рабочими органами круглых лесоматериалов / Е.В. Палкин, Ю.П. Грязнов, В. Г. Цикунов // Химико-лесной комплекс - проблемы и решения: науч.-практ. конф. : сб. тез. докл. студентов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ, 2003.- С. 14-16.

61. Палкин Е.В. Геометрия снимаемого объема коры и обрабатываемой поверхности при окорке гибкими рабочими органами / Е.В. Палкин, Ю.П. Грязнов, А.С. Швалов // Химико-лесной комплекс - проблемы и решения: науч.-практ. конф. : сб. тез. докл. студентов и молодых ученых. - Красноярск: СибГТУ, 2003. - С. 16-18.

62. Палкин Е.В. Применение энергетического метода при определении силовых параметров окорки цеповыми рабочими органами / Е.В. Палкин, В.Н. Курицын // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения (экологические аспекты): Научно-практическая конференция. Сборник статей студентов и аспирантов. - Красноярск: СибГТУ, Часть 2, 2004 г. - С. 111-112.

63. Палкин Е.В. Установка для исследования цеповой окорки с промышленными скоростями подачи / Е.В. Палкин, В.Н. Курицын // Химико-лесной комплекс - проблемы и решения: науч.-практ. конф. : сб. тез. докл. студентов и молодых ученых. - Красноярск: СибГТУ, 2005. - С. 149-151.

64. Палкин, Е.В. Результаты исследования цеповой окорки с промышленными скоростями подачи/ Е.В. Палкин, В.Н. Курицын // Вестник КрасГАУ, Выпуск 10: сб. ст. – Красноярск: КрасГАУ, 2010. – с. 152-155.

65. Палкин Е.В. Определение рациональной скорости подачи лесоматериалов при окорке цеповыми рабочими органами. / Е.В. Палкин, В.Н. Курицын, Н.Л. Ронжин // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции посвященной 80 – летию СибГУ. Том 1 - Красноярск: СибГТУ, 2010 г. С. 121-125.

66. Палкин, Е.В. Анализ энергетических затрат в процессе цеповой окорки древесины / Е.В. Палкин, В.Н. Курицын // Вестник КрасГАУ, Выпуск 7: сб. ст. – Красноярск: КрасГАУ, 2013. – с. 229-234.

67. Палкин, Е.В. Математические модели удельных энергетических затрат в процессе цеповой окорки лесоматериалов / Е.В. Палкин, Ушанов С.В., Розанова Т.С., Гришин К.М. // Фундаментальные исследования. 2014. № 8 (часть 2). С. 317-321.

68. Палкин, Е.В. Математическая обработка результатов экспериментов по цеповой окорке сегментных лесоматериалов ели / Е.В. Палкин, С.В. Ушанов // Вестник КрасГАУ, Выпуск 10: сб. ст. – Красноярск: КрасГАУ, 2016. – с. 113-120.

69. Палкин, Е.В. Обработка результатов экспериментов по исследованию цеповой окорки сегментных лесоматериалов / Е.В. Палкин, С.В. Ушанов, Т.С. Розанова // Вестник Иркутского государственного технического университета, Выпуск 12: Т. 20: сб. ст. – Иркутск: ИрГТУ, 2016. – с. 72-79.

70. Палкин, Е. В. Описание процесса окорки круглых лесоматериалов и горбылей / Е. В. Палкин, Т. С. Розанова // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 4 (40). С. 141-147.

71. Палкин, Е. В. Результаты экспериментов по окорке лесоматериалов гибкими цепными рабочими органами / Е. В. Палкин // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т.36. № 6. С.554-558.

72. Пигильдин, Н.Ф. Эксплуатация окорочных станков: Обзор. Лесозэксплуатация / Н.Ф. Пигильдин, Г.И. Торговников. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1978. – 48с.
73. Пигильдин, Н.Ф. Опыт эксплуатации окорочного оборудования: Обзор. Лесозэксплуатация / Н.Ф. Пигильдин, Г.И. Торговников. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 136 с.
74. Пигильдин, Н.Ф. Окорка лесоматериалов / Н.Ф. Пигильдин. - М.: Лесная промышленность, 1982. - 192 с.
75. Пигильдин, Н.Ф. Эксплуатация окорочного оборудования / Н.Ф. Пигильдин. Изд.2-е, перераб. И доп. - М.: Экология, 1991 г. – 112 с.
76. Пижурин, А.А. Исследование процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром – сть, 1984. – 232 с.
77. Пижурин, А.А. Основы научных исследований в деревообработке: учебник для вузов / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 305 с.
78. Пижурин, А.А. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. - М.: Лесн. пром – сть, 1988. – 296 с.
79. Пижурин, А.А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке / А.А. Пижурин.- М.: Лесн.пром-сть, 1972. 248с
80. Побединский, В.В. Роторные окорочные станки с автоматически управляемым пневмогидроприводом : дис. ... докт. техн. наук: 05.21.01 / Побединский Владимир Викторович. – Екатеринбург, 2015. - 386 с.
81. Пожитков, В.И. Справочник механика целлюлозно – бумажного предприятия / В.И. Пожитков, М.И. Калинин. – М.: Лесн. промышленность, 1983. – 552 с.
82. Попеко, В.С. Исследование процесса окорки лиственницы тупыми короснимателями: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.21.01 / Попеко Владимир Сергеевич. – Химки, 1969. – 21с.

83. Попеко, В.С. Исследование некоторых физических и механических свойств коры и древесины лиственницы сибирской / В.С. Попеко, М.Н. Симонов // Сборник трудов/ ЦНИИМЭ, Вып. 99. Химки, 1969, 62-68 с.
84. Пыстин, А.И. Окорка мороженой древесины / А.И. Пыстин, А.Н. Коршунов // В кн.: Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Сб. научи, трудов. Вып. 9. Л., 1980, - С. 79 - 81.
85. Рахманов, С.И. Основы расчета оборудования лесозаготовок / С.И. Рахманов, К.Ф. Говорский, Н.В. Лившиц. - М.: Лесн. пром-сть., 1973. - 192 с.
86. Розенблит, М.С. Практикум по планированию эксперимента / М.С. Розенблит, Н.С. Житарев; под общ. ред. А.А. Пижурин. – М.: МЛТИ, 1983. – 75 с.
87. Рушнов, Н.П. Окорка щепы, получаемой при переработке целых деревьев/ Н.П. Рушнов, А.И. Молчанова // Реф. инфор. Лесозэксплуатация и лесосплав. - М 1979. Вып. 13, - 16 с.
88. Симонов, М.Н. Окорка древесины / М.Н. Симонов, В.Г. Югов. - М.: Лесная промышленность, 1972 г.,- 128 с.
89. Симонов, М.Н. Механизация окорки лесоматериалов / М.Н. Симонов. - М.: Лесная промышленность, 1984 г.,- 216 с.
90. Симонов, М.Н. Предел прочности коры и древесины при низких температурах / М.Н. Симонов, А.Г. Майорова // Лесной журнал, Архангельск, 1971, - №2, с. 81-86.
91. Симонов, М.Н. Состояние и тенденции развития окорочного оборудования / М.Н. Симонов, Н.Ф. Пигильдин // НИИМаш, Станкостроение С -1. М., 1977. - 64 с.
92. Симонов, М.Н. Исследования влияния влажности древесины на процесс окорки / М.Н. Симонов, Л.Д. Фрид // – Тр.ЦНИИМЭ. Химки, 1970. Вып. 110, с 66 –74

93. Симонов, М.Н. Некоторые зависимости физико – механических свойств коры и древесины сосны, ели, березы. Сборник трудов / М.Н. Симонов // ЦНИИМЭ, Вып. 41. Химки, 1963. - 3-13 с.
94. Симонов, М.Н. Окорочные станки: устройство и эксплуатация / М.Н. Симонов, Г.И. Торговников. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 184 с.
95. Скурихин, В.И. Обоснование параметров рабочих органов для окорки лиственницы при поперечной подаче: дис. ... канд. тех., наук: 05.21.01 / Скурихин Владимир Иванович. - М., 1984. – 337 с.
96. Суханов В.С. О повышении эффективности работы ЦБК за счет снижения затрат на производство сырья. - ЛЕСПРОМ-ИНФОРМ, 2005, № 3 (25), с. 60-64.
97. Тихомиров, Б.Н. Сплав лиственницы / Б.Н. Тихомиров. - М.: Лесная промышленность, 1966.- 157 с.
98. Уголев, Б.Н., Древесиноведение с основами лесного товароведения: Учебник для вузов / Б.Н. Уголев. - М.: Лесн. пром-сть. 1986. – 386 с.
99. Ушанов, С.В., Параметрическая идентификация моделей. - Красноярск, 2012. - 202 с.
100. Фрид, Л.Д. Удельное сопротивление окорению. Вопросы окорки древесины / Л.Д. Фрид . - Тр. ЦНИИМЭ. Химки, 1970. Вып. 110, с 75 – 82.
101. Цатурян, Е.М. Исследование процесса окорки круглых лесоматериалов при их поперечном перемещении: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.21.01 / Цатурян Евгений Михайлович – Л., 1981. – 19 с.
102. Шегельман, И.Р. Групповая очистка тонкомерной древесины от сучьев, ветвей и коры / И.Р. Шегельман, Лапатин А.Ю., Вассель Я.М. Переработка и энергоиспользование низкокачественной древесины: тр. ЦНИИМЭ - Химки: ЦНИИМЭ, 1989.- С. 101-105.
103. Шегельман И.Р. Потенциал совмещения операций очистки деревьев от сучьев и коры в рамках сквозных технологий

лесопрмышленных производств [Электронный ресурс] / И.Р. Шегельман, А.С. Васильев // Инженерный вестник Дона. - Ростов-на-Дону, 2013. - Вып.2. - Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1744>.

104. Шелгунов, Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства: Учебник. / Ю.В. Шелгунов, Г.М. Кутуков, Г.П. Ильин. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 520 с.

105. Шелгунов, Ю.В. Технология и оборудование лесопромышленных предприятий: Учебник. 3-е изд. / Ю.В. Шелгунов, Г.М. Кутуков, Н.И. Лебедев. – М.: МГУЛ, 2002. – 598 с.

106. Шелгунов, Ю.В. Окорка круглых лесоматериалов / Ю.В. Шелгунов. – Лесная промышленность, 1983, №11, с.10.

107. Югов, В.Г. Экспериментальные исследования по окорке древесины гидравлическим способом / В.Г. Югов. – Тр./ ЦНИИМЭ. Химки, 1965. Вып. 65, с. 87 – 102.

108. K.I.C. International corporation. Manitowoc. 2M/MO Litho in U.S.A. 1987. – 23 с.

109. Horizontal flail delimber. Patent. № 4,711,280 Cl B 27 L 1/00, 1987. – 8 с. Steve-Briscoe_Husky_Flail-Presentation [Электронный ресурс]. URL: <http://petersonpacific.com/content/brochure/> (дата обращения 01.02.2017).

110. Окорочно-рубительный комплекс Morbark 2755 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.okorka.ru/catalog/izmelchenie-dereviev/okorochno-rubitelnye-kompleksy/Morbark-2755/>(дата обращения 10.02.2019).

111. Morbark - оборудование, создающее возможности [Электронный ресурс]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=792/> (дата обращения 10.02.2019).

Приложение А

(справочное)

К расчету минимального количества параллельных опытов

Таблица А1 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО ели при попутной подаче, 1 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Ель, попутная подача, 0,0066 x 13,2									
1	45	-1,5	2,25	46,50	2,07	4,45	0,65	1,41	3,04
2	48	+1,5	2,25						
3	46	-0,5	0,25						
4	49	+2,5	6,25						
5	46	-0,5	0,25						
6	47	+0,5	0,25						
7	43	-3,5	12,25						
8	44	-2,5	6,25						
9	49	+2,5	6,25						
10	48	+1,5	2,25						

Таблица А2 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО ели при встречной подаче, 1 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Ель, встречная подача, 0,0066 x 13,2									
1	68	-6,2	38,44	74,20	3,33	4,48	1,05	1,42	3,09
2	78	+3,8	14,44						
3	73	-1,2	1,44						
4	77	+2,8	7,84						
5	73	-1,2	1,44						
6	78	+3,8	14,44						
7	74	-0,2	0,04						
8	75	+0,8	0,64						
9	76	-1,8	3,24						
10	70	-4,2	17,64						

Таблица А3 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО пихты при попутной подаче, 1 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Пихта, попутная подача, 0,0066 x 16,64									
1	96	-4,9	24,01	100,9	4,23	4,19	1,34	1,33	2,70
2	97	-3,9	15,21						
3	96	-4,9	24,01						
4	105	+4,1	16,81						
5	97	-3,9	15,21						
6	104	+3,1	9,61						
7	99	-1,9	3,61						
8	106	+5,1	26,01						
9	105	+4,1	16,81						
10	104	+3,1	9,61						

Таблица А4 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО пихты при встречной подаче, 1 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Пихта, встречная подача, 0,0053 x 20,72									
1	196	-9,6	92,16	205,6	8,63	4,20	2,73	1,33	2,71
2	214	+8,4	70,56						
3	199	-6,6	43,56						
4	209	+3,4	11,56						
5	194	-11,6	134,5						
6	217	+11,4	129,9						
7	197	-8,6	73,96						
8	208	+2,4	5,76						
9	216	+10,4	108,2						
10	206	+0,4	0,16						

Таблица А5 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО ели при попутной подаче, 2 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Ель, попутная подача, 0,88 x 42,39									
1	1,9	-0,34	0,115	2,24	0,20	8,73	0,06	2,76	11,71
2	2,1	-0,14	0,019						
3	2,5	+0,26	0,067						
4	2,3	+0,06	0,003						
5	2,2	-0,04	0,001						
6	2,4	+0,16	0,025						
7	2,1	-0,14	0,019						
8	2,5	+0,26	0,067						
9	2,1	-0,14	0,019						
10	2,3	+0,06	0,003						

Таблица А6 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО ели при встречной подаче, 2 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Ель, встречная подача, 0,88 x 37,68									
1	2,2	-0,05	0,0025	2,25	0,20	8,70	0,06	2,75	11,64
2	2,1	-0,15	0,0225						
3	2,3	+0,05	0,0025						
4	2,5	+0,25	0,0625						
5	2,4	+0,15	0,0225						
6	2,0	-0,25	0,0625						
7	2,1	-0,15	0,0225						
8	2,5	+0,25	0,0625						
9	2,0	-0,25	0,0625						
10	2,4	+0,15	0,0225						

Таблица А7 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО пихты при попутной подаче, 2 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Пихта, попутная подача, 0,88 x 42,39									
1	2,4	-0,05	0,0025	2,45	0,22	8,87	0,07	2,80	12,09
2	2,5	+0,05	0,0025						
3	2,3	-0,15	0,0225						
4	2,7	+0,25	0,0625						
5	2,8	+0,35	0,1225						
6	2,5	+0,05	0,0025						
7	2,1	-0,35	0,1225						
8	2,4	-0,05	0,0025						
9	2,2	-0,25	0,0625						
10	2,6	+0,15	0,0225						

Таблица А8 - Расчет минимального количества параллельных опытов по окорке ЦРО пихты при встречной подаче, 2 гр. опытов

№	Y	X	X^2	M	σ	ν	m	P	n
Пихта, встречная подача, 0,88 x 42,39									
1	2,8	-0,4	0,1681	3,21	0,28	8,62	0,09	2,73	11,42
2	3,5	+0,3	0,0841						
3	3,4	+0,2	0,0361						
4	2,7	-0,5	0,2601						
5	3,2	-0,0	0,0001						
6	3,1	-0,1	0,0121						
7	3,4	+0,2	0,0361						
8	3,3	+0,1	0,0081						
9	3,2	-0,0	0,0001						
10	3,5	+0,3	0,0841						

Приложение Б
(справочное)
Результаты опытов по окорке ЦРО (первая группа опытов)

Таблица Б.1 – Результаты наблюдений по окорке ели

№	h, м	L, м	b, м	V, м ³	w, об/мин	U, м/с	t, сек	V _{лин} , м/с	ВТ ₁	ВТ ₂	ВТ ₃	k ₁	k ₂	k ₃	K _{ср} , МДж/м ³	поп.	встр.
1	0,0038	0,45	0,08	0,000137	840	0,0066	68,2	13,19	93	92	96	46	46	48	47	+	
2	0,0042	0,45	0,08	0,000151	1060	0,0066	68,2	16,64	207	215	218	93	97	98	96	+	
3	0,0043	0,45	0,08	0,000155	1320	0,0066	68,2	20,72	276	273	274	122	120	121	121	+	
4	0,0041	0,45	0,08	0,000148	840	0,0053	84,9	13,19	98	97	99	56	56	57	56	+	
5	0,0042	0,45	0,08	0,000151	1060	0,0053	84,9	16,64	223	228	225	125	128	126	127	+	
6	0,0045	0,45	0,08	0,000162	1320	0,0053	84,9	20,72	287	292	290	150	153	152	152	+	
7	0,0041	0,45	0,08	0,000148	840	0,0043	104,7	13,19	94	106	104	67	75	74	72	+	
8	0,0039	0,45	0,08	0,000140	1060	0,0043	104,7	16,64	144	227	219	107	169	163	147	+	
9	0,0042	0,45	0,08	0,000151	1320	0,0043	104,7	20,72	303	279	280	210	193	194	199	+	
10	0,0038	0,45	0,08	0,000137	840	0,0066	68,2	13,19	157	148	137	78	74	68	73		+
11	0,0041	0,45	0,08	0,000148	1060	0,0066	68,2	16,64	204	230	227	94	106	105	102		+
12	0,0042	0,45	0,08	0,000151	1320	0,0066	68,2	20,72	282	293	290	127	132	131	130		+
13	0,0049	0,45	0,08	0,000176	840	0,0053	84,9	13,19	168	174	186	81	84	90	85		+
14	0,0042	0,45	0,08	0,000151	1060	0,0053	84,9	16,64	244	238	241	137	134	135	135		+
15	0,0042	0,45	0,08	0,000151	1320	0,0053	84,9	20,72	301	296	306	169	166	172	169		+
16	0,004	0,45	0,08	0,000144	840	0,0043	104,7	13,19	133	139	138	97	101	100	99		+
17	0,0039	0,45	0,08	0,000140	1060	0,0043	104,7	16,64	174	231	224	130	172	167	156		+
18	0,004	0,45	0,08	0,000144	1320	0,0043	104,7	20,72	293	288	296	213	209	215	212		+

Таблица Б. 2 – Результаты наблюдений по окорке пихты

№	h, м	L, м	b, м	V, м ³	w, об/мин	U, м/с	t, сек	V _{лин} , м/с	BT ₁	BT ₂	BT ₃	k ₁	k ₂	k ₃	K _{ср} , МДж/м ³	поп.	встр.
1	0,0037	0,45	0,08	0,000133	840	0,0066	68,2	13,19	103	116	111	53	60	57	56	+	
2	0,0042	0,45	0,08	0,000151	1060	0,0066	68,2	16,64	221	228	220	100	103	99	101	+	
3	0,0041	0,45	0,08	0,000148	1320	0,0066	68,2	20,72	297	301	299	137	139	138	138	+	
4	0,0038	0,45	0,08	0,000137	840	0,0053	84,9	13,19	108	107	114	67	66	71	68	+	
5	0,0043	0,45	0,08	0,000155	1060	0,0053	84,9	16,64	251	247	246	138	135	135	136	+	
6	0,0039	0,45	0,08	0,000140	1320	0,0053	84,9	20,72	304	307	306	184	186	185	185	+	
7	0,0038	0,45	0,08	0,000137	840	0,0043	104,7	13,19	104	131	119	79	100	91	90	+	
8	0,0044	0,45	0,08	0,000158	1060	0,0043	104,7	16,64	257	261	252	170	172	166	170	+	
9	0,0041	0,45	0,08	0,000148	1320	0,0043	104,7	20,72	321	322	306	227	228	217	224	+	
10	0,0037	0,45	0,08	0,000133	840	0,0066	68,2	13,19	148	144	150	76	74	77	75		+
11	0,0037	0,45	0,08	0,000133	1060	0,0066	68,2	16,64	218	238	248	112	122	127	120		+
12	0,0038	0,45	0,08	0,000137	1320	0,0066	68,2	20,72	299	336	316	149	168	157	158		+
13	0,004	0,45	0,08	0,000144	840	0,0053	84,9	13,19	156	164	165	92	97	97	95		+
14	0,0043	0,45	0,08	0,000155	1060	0,0053	84,9	16,64	281	274	272	154	150	149	151		+
15	0,0038	0,45	0,08	0,000137	1320	0,0053	84,9	20,72	318	339	332	198	211	206	205		+
16	0,0044	0,45	0,08	0,000158	840	0,0043	104,7	13,19	173	176	168	114	116	111	114		+
17	0,0043	0,45	0,08	0,000155	1060	0,0043	104,7	16,64	277	267	281	187	181	190	186		+
18	0,0039	0,45	0,08	0,000140	1320	0,0043	104,7	20,72	310	331	322	231	247	240	239		+

Приложение В (справочное)
Результаты опытов по окорке ЦРО (вторая группа опытов)

Таблица В.1 - Результаты наблюдений по окорке ели

№	h, м	L, м	b, м	V, м ³	w, об/мин	t _{шаг} зуб	U, м/с	t, сек	V _{лин} , м/с	Вт ₁	Вт ₂	Вт ₃	k ₁	k ₂	k ₃	K _{ср} , МДж/м ³	поп.	встр.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0,0027	0,57	0,01	0,0000154	2400	0,236	0,88	0,648	37,68	42	38	41	1,8	1,6	1,7	1,7	+	
2	0,0039	0,75	0,01	0,0000293	2700	0,236	0,88	0,852	42,39	75	74	72	2,2	2,2	2,1	2,1	+	
3	0,004	0,7	0,01	0,0000280	3000	0,236	0,88	0,795	47,10	99	98	102	2,8	2,8	2,9	2,8	+	
4	0,0025	0,58	0,01	0,0000145	2400	0,236	0,68	0,853	37,68	45	44	46	2,6	2,6	2,7	2,6	+	
5	0,0039	0,66	0,01	0,0000257	2700	0,236	0,68	0,971	42,39	94	95	93	3,5	3,6	3,5	3,5	+	1
6	0,0043	0,56	0,01	0,0000241	3000	0,236	0,68	0,824	47,10	107	108	110	3,7	3,7	3,8	3,7	+	
7	0,0033	0,55	0,01	0,0000182	2400	0,236	0,48	1,146	37,68	61	59	60	3,9	3,7	3,8	3,8	+	
8	0,0047	0,69	0,01	0,0000324	2700	0,236	0,48	1,438	42,39	99	97	96	4,4	4,3	4,3	4,3	+	
9	0,0045	0,64	0,01	0,0000288	3000	0,236	0,48	1,333	47,10	107	106	106	5,0	4,9	4,9	4,9	+	
10	0,0027	0,55	0,01	0,0000149	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	56	53	55	2,4	2,2	2,3	2,3		+
11	0,0038	0,56	0,01	0,0000213	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	90	91	93	2,7	2,7	2,8	2,7		+
12	0,004	0,68	0,01	0,0000272	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	125	132	129	3,6	3,8	3,7	3,7		+
13	0,0036	0,55	0,01	0,0000198	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	69	70	69	2,8	2,9	2,8	2,8		+
14	0,0038	0,63	0,01	0,0000239	2700	0,236	0,68	0,926	42,39	99	98	100	3,8	3,8	3,9	3,8		+
15	0,0041	0,54	0,01	0,0000221	3000	0,236	0,68	0,794	47,10	118	119	124	4,2	4,3	4,4	4,3	1	+
16	0,0041	0,5	0,01	0,0000205	2400	0,236	0,48	1,042	37,68	90	89	93	4,6	4,5	4,7	4,6		+
17	0,0045	0,52	0,01	0,0000234	2700	0,236	0,48	1,083	42,39	108	111	109	5,0	5,1	5,0	5,1		+
18	0,0039	0,56	0,01	0,0000218	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	117	121	123	6,3	6,5	6,6	6,4		+
19	0,0031	0,62	0,01	0,0000192	2400	0,236	0,88	0,705	37,68	44	43	44	1,6	1,6	1,6	1,6	+	
20	0,0029	0,59	0,01	0,0000171	2700	0,236	0,88	0,670	42,39	65	64	59	2,5	2,5	2,3	2,5	+	

Продолжение Таблицы - В.1 - Результаты наблюдений по окорке ели

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
21	0,0039	0,54	0,01	0,0000211	3000	0,236	0,88	0,614	47,10	99	98	100	2,9	2,9	2,9	2,9	+	
22	0,0024	0,63	0,01	0,0000151	2400	0,236	0,68	0,926	37,68	44	42	43	2,7	2,6	2,6	2,6	+	
23	0,0045	0,65	0,01	0,0000293	2700	0,236	0,68	0,956	42,39	94	97	96	3,1	3,2	3,1	3,1	+	2
24	0,0042	0,67	0,01	0,0000281	3000	0,236	0,68	0,985	47,10	104	109	110	3,6	3,8	3,9	3,8	+	
25	0,0037	0,57	0,01	0,0000211	2400	0,236	0,48	1,188	37,68	71	65	67	4,0	3,7	3,8	3,8	+	
26	0,0042	0,65	0,01	0,0000273	2700	0,236	0,48	1,354	42,39	91	93	87	4,5	4,6	4,3	4,5	+	
27	0,004	0,56	0,01	0,0000224	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	98	99	95	5,1	5,2	4,9	5,1	+	
28	0,0027	0,55	0,01	0,0000149	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	57	53	53	2,4	2,2	2,2	2,3		+
29	0,0035	0,56	0,01	0,0000196	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	86	85	83	2,8	2,8	2,7	2,7		+
30	0,004	0,68	0,01	0,0000272	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	129	132	127	3,7	3,8	3,6	3,7		+
31	0,003	0,55	0,01	0,0000165	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	69	65	70	3,4	3,2	3,4	3,3		+
32	0,0032	0,69	0,01	0,0000221	2700	0,236	0,68	1,015	42,39	95	90	100	4,4	4,1	4,6	4,4		+
33	0,004	0,59	0,01	0,0000236	3000	0,236	0,68	0,868	47,10	115	122	125	4,2	4,5	4,6	4,4	2	+
34	0,004	0,57	0,01	0,0000228	2400	0,236	0,48	1,188	37,68	90	92	90	4,7	4,8	4,7	4,7		+
35	0,004	0,61	0,01	0,0000244	2700	0,236	0,48	1,271	42,39	104	103	105	5,4	5,4	5,5	5,4		+
36	0,004	0,63	0,01	0,0000252	3000	0,236	0,48	1,313	47,10	126	130	129	6,6	6,8	6,7	6,7		+
37	0,0031	0,64	0,01	0,0000198	2400	0,236	0,88	0,727	37,68	49	46	45	1,8	1,7	1,6	1,7	+	
38	0,0031	0,61	0,01	0,0000189	2700	0,236	0,88	0,693	42,39	65	64	66	2,4	2,3	2,4	2,4	+	
39	0,0036	0,58	0,01	0,0000209	3000	0,236	0,88	0,659	47,10	93	95	90	2,9	3,0	2,8	2,9	+	
40	0,0027	0,58	0,01	0,0000157	2400	0,236	0,68	0,853	37,68	47	44	46	2,6	2,4	2,5	2,5	+	
41	0,0039	0,66	0,01	0,0000257	2700	0,236	0,68	0,971	42,39	94	95	93	3,5	3,6	3,5	3,5	+	3
42	0,0042	0,56	0,01	0,0000235	3000	0,236	0,68	0,824	47,10	107	108	112	3,7	3,8	3,9	3,8	+	
43	0,0037	0,55	0,01	0,0000204	2400	0,236	0,48	1,146	37,68	63	59	67	3,5	3,3	3,8	3,5	+	

Продолжение Таблицы - В.1 - Результаты наблюдений по окорке ели

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
44	0,0056	0,69	0,01	0,0000386	2700	0,236	0,48	1,438	42,39	98	99	97	3,6	3,7	3,6	3,6	+	
45	0,0042	0,64	0,01	0,0000269	3000	0,236	0,48	1,333	47,10	107	109	108	5,3	5,4	5,4	5,4	+	
46	0,0026	0,55	0,01	0,0000143	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	50	53	50	2,2	2,3	2,2	2,2		+
47	0,0032	0,56	0,01	0,0000179	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	89	84	90	3,2	3,0	3,2	3,1		+
48	0,004	0,68	0,01	0,0000272	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	125	132	128	3,6	3,8	3,6	3,6		+
49	0,0036	0,55	0,01	0,0000198	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	69	65	70	2,8	2,7	2,9	2,8		+
50	0,0038	0,63	0,01	0,0000239	2700	0,236	0,68	0,926	42,39	96	98	100	3,7	3,8	3,9	3,8		+
51	0,0041	0,54	0,01	0,0000221	3000	0,236	0,68	0,794	47,10	121	119	124	4,3	4,3	4,4	4,4	3	+
52	0,0041	0,5	0,01	0,0000205	2400	0,236	0,48	1,042	37,68	98	90	97	5,0	4,6	4,9	4,8		+
53	0,004	0,52	0,01	0,0000208	2700	0,236	0,48	1,083	42,39	100	101	105	5,2	5,3	5,5	5,3		+
54	0,0038	0,56	0,01	0,0000213	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	120	121	122	6,6	6,6	6,7	6,6		+
55	0,0031	0,57	0,01	0,0000177	2400	0,236	0,88	0,648	37,68	43	44	48	1,6	1,6	1,8	1,6	+	
56	0,0038	0,75	0,01	0,0000285	2700	0,236	0,88	0,852	42,39	75	74	72	2,2	2,2	2,2	2,2	+	
57	0,004	0,7	0,01	0,0000280	3000	0,236	0,88	0,795	47,10	99	98	102	2,8	2,8	2,9	2,8	+	
58	0,0024	0,63	0,01	0,0000151	2400	0,236	0,68	0,926	37,68	44	42	43	2,7	2,6	2,6	2,6	+	
59	0,0044	0,65	0,01	0,0000286	2700	0,236	0,68	0,956	42,39	94	93	96	3,1	3,1	3,2	3,2	+	4
60	0,0043	0,67	0,01	0,0000288	3000	0,236	0,68	0,985	47,10	104	109	114	3,6	3,7	3,9	3,7	+	
61	0,0037	0,57	0,01	0,0000211	2400	0,236	0,48	1,188	37,68	71	65	67	4,0	3,7	3,8	3,8	+	
62	0,0043	0,65	0,01	0,0000280	2700	0,236	0,48	1,354	42,39	91	93	87	4,4	4,5	4,2	4,4	+	
63	0,0041	0,56	0,01	0,0000230	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	98	100	97	5,0	5,1	4,9	5,0	+	
64	0,0027	0,55	0,01	0,0000149	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	50	53	49	2,1	2,2	2,1	2,1		+
65	0,0036	0,56	0,01	0,0000202	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	99	89	90	3,1	2,8	2,8	2,9		+
66	0,0042	0,68	0,01	0,0000286	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	125	132	129	3,4	3,6	3,5	3,5		+

Продолжение Таблицы - В.1 - Результаты наблюдений по окорке ели

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
67	0,003	0,55	0,01	0,0000165	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	69	70	73	3,4	3,4	3,6	3,5		+
68	0,0036	0,63	0,01	0,0000227	2700	0,236	0,68	0,926	42,39	103	98	100	4,2	4,0	4,1	4,1		+
69	0,004	0,54	0,01	0,0000216	3000	0,236	0,68	0,794	47,10	118	119	124	4,3	4,4	4,6	4,4	4	+
70	0,004	0,5	0,01	0,0000200	2400	0,236	0,48	1,042	37,68	95	98	100	4,9	5,1	5,2	5,1		+
71	0,0045	0,52	0,01	0,0000234	2700	0,236	0,48	1,083	42,39	103	100	102	4,8	4,6	4,7	4,7		+
72	0,0037	0,56	0,01	0,0000207	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	117	121	119	6,6	6,8	6,7	6,7		+

Таблица В. 2 – Результаты наблюдений по окорке пихты

№	h, м	L, м	b, м	V, м ³	w, об/мин	t _{шаг зуб}	U, м/с	t, сек	V _{лин} , м/с	ВТ ₁	ВТ ₂	ВТ ₃	k ₁	k ₂	k ₃	K _{ср} , МДж/м ³	поп.	встр.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0,0027	0,57	0,01	0,0000154	2400	0,236	0,88	0,648	37,68	53	51	55	2,2	2,1	2,3	2,2	+	
2	0,0034	0,75	0,01	0,0000255	2700	0,236	0,88	0,852	42,39	83	84	83	2,8	2,8	2,8	2,8	+	
3	0,004	0,7	0,01	0,0000280	3000	0,236	0,88	0,795	47,10	109	108	110	3,1	3,1	3,1	3,1	+	
4	0,0025	0,58	0,01	0,0000145	2400	0,236	0,68	0,853	37,68	55	54	56	3,2	3,2	3,3	3,2	+	
5	0,0039	0,66	0,01	0,0000257	2700	0,236	0,68	0,971	42,39	104	103	102	3,9	3,9	3,8	3,9	+	1
6	0,0044	0,56	0,01	0,0000246	3000	0,236	0,68	0,824	47,10	113	117	119	3,8	3,9	4,0	3,9	+	
7	0,0037	0,55	0,01	0,0000204	2400	0,236	0,48	1,146	37,68	69	73	72	3,9	4,1	4,1	4,0	+	
8	0,0041	0,69	0,01	0,0000283	2700	0,236	0,48	1,438	42,39	111	113	110	5,6	5,7	5,6	5,7	+	
9	0,0039	0,64	0,01	0,0000250	3000	0,236	0,48	1,333	47,10	127	126	128	6,8	6,7	6,8	6,8	+	
10	0,0027	0,55	0,01	0,0000149	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	69	63	67	2,9	2,7	2,8	2,8		+
11	0,0035	0,56	0,01	0,0000196	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	100	96	98	3,2	3,1	3,2	3,2		+
12	0,0042	0,68	0,01	0,0000286	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	144	139	137	3,9	3,8	3,7	3,8		+
13	0,0038	0,55	0,01	0,0000209	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	81	83	80	3,1	3,2	3,1	3,1		+
14	0,0038	0,63	0,01	0,0000239	2700	0,236	0,68	0,926	42,39	117	116	120	4,5	4,5	4,6	4,6		+
15	0,0041	0,54	0,01	0,0000221	3000	0,236	0,68	0,794	47,10	129	134	134	4,6	4,8	4,8	4,7	1	+
16	0,0041	0,5	0,01	0,0000205	2400	0,236	0,48	1,042	37,68	100	98	99	5,1	5,0	5,0	5,0		+
17	0,004	0,52	0,01	0,0000208	2700	0,236	0,48	1,083	42,39	118	121	117	6,1	6,3	6,1	6,2		+
18	0,0037	0,56	0,01	0,0000207	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	139	133	135	7,8	7,5	7,6	7,6		+
19	0,0031	0,62	0,01	0,0000192	2400	0,236	0,88	0,705	37,68	53	55	52	1,9	2,0	1,9	2,0	+	
20	0,0034	0,59	0,01	0,0000201	2700	0,236	0,88	0,670	42,39	76	75	79	2,5	2,5	2,6	2,6	+	
21	0,0039	0,54	0,01	0,0000211	3000	0,236	0,88	0,614	47,10	119	108	112	3,5	3,1	3,3	3,3	+	

Продолжение Таблицы - В.2 - Результаты наблюдений по окорке пихты

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
22	0,0024	0,63	0,01	0,0000151	2400	0,236	0,68	0,926	37,68	60	57	59	3,7	3,5	3,6	3,6	+	
23	0,0039	0,65	0,01	0,0000254	2700	0,236	0,68	0,956	42,39	103	103	104	3,9	3,9	3,9	3,9	+	2
24	0,0041	0,67	0,01	0,0000275	3000	0,236	0,68	0,985	47,10	117	119	118	4,2	4,3	4,2	4,2	+	
25	0,0037	0,57	0,01	0,0000211	2400	0,236	0,48	1,188	37,68	83	76	77	4,7	4,3	4,3	4,4	+	
26	0,0042	0,65	0,01	0,0000273	2700	0,236	0,48	1,354	42,39	100	102	107	5,0	5,1	5,3	5,1	+	
27	0,004	0,56	0,01	0,0000224	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	109	111	111	5,7	5,8	5,8	5,7	+	
28	0,0027	0,55	0,01	0,0000149	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	65	63	67	2,7	2,7	2,8	2,7		+
29	0,0037	0,56	0,01	0,0000207	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	98	99	103	3,0	3,0	3,2	3,1		+
30	0,0042	0,68	0,01	0,0000286	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	134	139	139	3,6	3,8	3,8	3,7		+
31	0,0033	0,55	0,01	0,0000182	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	89	87	90	4,0	3,9	4,0	4,0		+
32	0,0037	0,69	0,01	0,0000255	2700	0,236	0,68	1,015	42,39	107	111	112	4,3	4,4	4,5	4,4		+
33	0,0042	0,59	0,01	0,0000248	3000	0,236	0,68	0,868	47,10	130	129	129	4,6	4,5	4,5	4,5	2	+
34	0,004	0,57	0,01	0,0000228	2400	0,236	0,48	1,188	37,68	104	107	110	5,4	5,6	5,7	5,6		+
35	0,0039	0,61	0,01	0,0000238	2700	0,236	0,48	1,271	42,39	112	116	114	6,0	6,2	6,1	6,1		+
36	0,0038	0,63	0,01	0,0000239	3000	0,236	0,48	1,313	47,10	138	139	139	7,6	7,6	7,6	7,6		+
37	0,0031	0,64	0,01	0,0000198	2400	0,236	0,88	0,727	37,68	59	57	53	2,2	2,1	1,9	2,1	+	
38	0,0031	0,61	0,01	0,0000189	2700	0,236	0,88	0,693	42,39	73	76	77	2,7	2,8	2,8	2,8	+	
39	0,0036	0,58	0,01	0,0000209	3000	0,236	0,88	0,659	47,10	100	103	101	3,2	3,3	3,2	3,2	+	
40	0,0025	0,58	0,01	0,0000145	2400	0,236	0,68	0,853	37,68	56	55	55	3,3	3,2	3,2	3,3	+	
41	0,0041	0,66	0,01	0,0000271	2700	0,236	0,68	0,971	42,39	103	108	111	3,7	3,9	4,0	3,8	+	3
42	0,0044	0,56	0,01	0,0000246	3000	0,236	0,68	0,824	47,10	115	118	119	3,8	3,9	4,0	3,9	+	
43	0,0037	0,55	0,01	0,0000204	2400	0,236	0,48	1,146	37,68	68	67	71	3,8	3,8	4,0	3,9	+	
44	0,0039	0,69	0,01	0,0000269	2700	0,236	0,48	1,438	42,39	112	113	110	6,0	6,0	5,9	6,0	+	

Продолжение Таблицы - В.2 - Результаты наблюдений по окорке пихты

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
45	0,0039	0,64	0,01	0,0000250	3000	0,236	0,48	1,333	47,10	107	109	108	5,7	5,8	5,8	5,8	+	
46	0,0027	0,55	0,01	0,0000149	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	70	65	67	2,9	2,7	2,8	2,8		+
47	0,0038	0,56	0,01	0,0000213	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	99	101	103	3,0	3,0	3,1	3,0		+
48	0,0042	0,68	0,01	0,0000286	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	131	132	136	3,5	3,6	3,7	3,6		+
49	0,0036	0,55	0,01	0,0000198	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	79	84	85	3,2	3,4	3,5	3,4		+
50	0,0038	0,63	0,01	0,0000239	2700	0,236	0,68	0,926	42,39	113	112	110	4,4	4,3	4,3	4,3		+
51	0,0041	0,54	0,01	0,0000221	3000	0,236	0,68	0,794	47,10	132	129	134	4,7	4,6	4,8	4,7	3	+
52	0,0041	0,5	0,01	0,0000205	2400	0,236	0,48	1,042	37,68	101	99	98	5,1	5,0	5,0	5,0		+
53	0,0036	0,52	0,01	0,0000187	2700	0,236	0,48	1,083	42,39	119	123	125	6,9	7,1	7,2	7,1		+
54	0,0037	0,56	0,01	0,0000207	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	132	131	133	7,4	7,4	7,5	7,4		+
55	0,0027	0,57	0,01	0,0000154	2400	0,236	0,88	0,648	37,68	64	65	61	2,7	2,7	2,6	2,7	+	
56	0,0034	0,75	0,01	0,0000255	2700	0,236	0,88	0,852	42,39	84	85	81	2,8	2,8	2,7	2,8	+	
57	0,004	0,7	0,01	0,0000280	3000	0,236	0,88	0,795	47,10	107	104	109	3,0	3,0	3,1	3,0	+	
58	0,0024	0,63	0,01	0,0000151	2400	0,236	0,68	0,926	37,68	53	54	53	3,2	3,3	3,2	3,3	+	
59	0,0041	0,65	0,01	0,0000267	2700	0,236	0,68	0,956	42,39	111	110	106	4,0	3,9	3,8	3,9	+	4
60	0,0041	0,67	0,01	0,0000275	3000	0,236	0,68	0,985	47,10	117	116	119	4,2	4,2	4,3	4,2	+	
61	0,0037	0,57	0,01	0,0000211	2400	0,236	0,48	1,188	37,68	83	84	87	4,7	4,7	4,9	4,8	+	
62	0,0042	0,65	0,01	0,0000273	2700	0,236	0,48	1,354	42,39	100	99	106	5,0	4,9	5,3	5,0	+	
63	0,004	0,56	0,01	0,0000224	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	110	109	113	5,7	5,7	5,9	5,8	+	
64	0,0027	0,55	0,01	0,0000149	2400	0,236	0,88	0,625	37,68	83	85	87	3,5	3,6	3,7	3,6		+
65	0,0038	0,56	0,01	0,0000213	2700	0,236	0,88	0,636	42,39	100	103	102	3,0	3,1	3,1	3,0		+
66	0,0042	0,68	0,01	0,0000286	3000	0,236	0,88	0,773	47,10	139	137	139	3,8	3,7	3,8	3,7		+
67	0,0036	0,55	0,01	0,0000198	2400	0,236	0,68	0,809	37,68	89	87	91	3,6	3,6	3,7	3,6		+
68	0,0038	0,63	0,01	0,0000239	2700	0,236	0,68	0,926	42,39	114	118	120	4,4	4,6	4,6	4,5		+

Продолжение Таблицы - В.2 - Результаты наблюдений по окорке пихты

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
69	0,0041	0,54	0,01	0,0000221	3000	0,236	0,68	0,794	47,10	129	134	132	4,6	4,8	4,7	4,7	4	+
70	0,0041	0,5	0,01	0,0000205	2400	0,236	0,48	1,042	37,68	100	98	99	5,1	5,0	5,0	5,0		+
71	0,0037	0,52	0,01	0,0000192	2700	0,236	0,48	1,083	42,39	111	112	111	6,3	6,3	6,3	6,3		+
72	0,0037	0,56	0,01	0,0000207	3000	0,236	0,48	1,167	47,10	131	128	129	7,4	7,2	7,3	7,3		+

Приложение Г (справочное) - Результаты по фракционному анализу элементов коры после окорки ЦРО

Таблица Г. 1 – Результаты наблюдений по фракционному анализу элементов коры при попутной окорке ели, вторая группа опытов

Массовая доля остатков на ситах элементов коры ели при попутной окорке, %										ср. знач.
подача на один удар, м	0,0055	0,0049	0,0044	0,0043	0,0038	0,0034	0,0030	0,0027	0,0024	
1 сито, 30 мм	0,5	0,4	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0,1
2 сито, 20 мм	6	6	5,8	5,7	5,2	5	4,8	4,7	4,5	5,3
3 сито, 10 мм	51	51	51,1	51	51,3	51,4	51,6	51,5	51,3	51,2
4 сито, 5 мм	33	33	33,1	33,3	33,6	33,5	33,4	33,5	33,8	33,4
поддон	9,3	9,4	9,6	9,7	9,7	9,9	10	10,1	10,2	9,8
частиц. древесины	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица Г. 2 – Результаты наблюдений по фракционному анализу элементов коры при встречной окорке ели, вторая группа опытов

Массовая доля остатков на ситах элементов коры ели при встречной окорке, %										ср. знач.
подача на один удар, м	0,0055	0,0049	0,0044	0,0043	0,0038	0,0034	0,0030	0,0027	0,0024	
1 сито, 30 мм	0,9	0,9	1	1	1,1	1	1,2	1	1	1,0
2 сито, 20 мм	3,7	3	3	2,8	2,7	2,5	2	1,9	1,7	2,6
3 сито, 10 мм	48	48	47,9	47,5	46	46,8	46,8	47	46,8	47,2
4 сито, 5 мм	33,5	33,1	33	33,4	34,7	34,2	34,2	34,2	34,5	33,9
поддон	9,5	10	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,6	10,2
частиц. древесины	4,4	5	5	5,1	5,3	5,2	5,4	5,5	5,4	5,1

Таблица Г. 3 – Результаты наблюдений по фракционному анализу элементов коры при попутной окорке пихты, вторая группа опытов

Массовая доля остатков на ситах элементов коры пихты при попутной окорке, %										ср. знач.
подача на один удар, м	0,0055	0,0049	0,0044	0,0043	0,0038	0,0034	0,0030	0,0027	0,0024	
1 сито, 30 мм	0,9	0,5	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0,2
2 сито, 20 мм	7	6	6	5	5	4	4	3	3	4,8
3 сито, 10 мм	57	57	56,2	56,4	55,8	55,6	55,2	53,1	52,3	55,4
4 сито, 5 мм	27	28,3	28,8	29,5	30,1	31,2	31,4	34,1	34,2	30,5
поддон	7,9	8	8,4	8,9	8,9	8,9	9,2	9,7	10,3	8,9
частиц. древесины	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2

Таблица Г. 4 – Результаты наблюдений по фракционному анализу элементов коры при встречной окорке пихты, вторая группа опытов

Массовая доля остатков на ситах элементов коры пихты при встречной окорке, %										ср. знач.
подача на один удар, м	0,0055	0,0049	0,0044	0,0043	0,0038	0,0034	0,0030	0,0027	0,0024	
1 сито, 30 мм	1	1	1,1	1	1	0,6	0,7	0,8	1	0,9
2 сито, 20 мм	4	3,6	3,4	3,2	3,6	3,1	2,4	2,4	2,1	3,1
3 сито, 10 мм	47,2	47,8	46,4	46	46,4	46,6	46,1	46,1	46	46,5
4 сито, 5 мм	35,2	35,2	36,7	36,9	36,3	36,3	37,1	36,8	36,9	36,4
поддон	9,6	8,9	8,8	8,9	9	9,4	9,5	9,9	10	9,3
частиц. древесины	3	3,5	3,6	4	3,7	4	4,2	4	4	3,8

Приложение Д

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор СибГУ
им. М.Ф. Решетнева

Акбулатов Э.Ш.

« 15 » октября 20 22 г.



М.П.

АКТ

использования в учебном процессе результатов
диссертационной работы старшего преподавателя кафедры
Лесного инжиниринга Сибирского государственного университета науки и
технологий имени академика М.Ф. Решетнева Палкина Евгения Владимировича

Результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполненного на тему «Разработка технологии окорки с цеповыми рабочими органами» старшего преподавателя кафедры Лесного инжиниринга Палкина Е.В., используются в учебном процессе по направлению 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», направленностей «Лесоинженерное дело», «Лесопромышленное дело», «Транспортная логистика леса», уровня бакалавриата, очной и заочной форм обучения, в лекционных курсах и практических занятиях по дисциплинам: «Технология и оборудование лесных складов»; «Технология и оборудование лесозаготовок»; «Технология и оборудование лесоперерабатывающих производств» при выполнении курсового и дипломного проектирования студентов данных направлений подготовки.

Директор
Института лесных технологий

П. Г. Колесников

Заведующий кафедрой
Лесного инжиниринга
д-р с.-х. наук, доцент

Е. В. Авдеева

Приложение Е

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НИД
СибГУ им. М.Ф. Решетнева
Логинов Ю.Ю.

« 21 » февраля 20 22 г.



М.П.

АКТ

использования в научно - исследовательской работе студентов
результатов диссертационной работы старшего преподавателя кафедры
Лесного инжиниринга Сибирского государственного университета науки и
технологий имени академика М.Ф. Решетнева Палкина Евгения Владимировича

Результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполненного на тему «Разработка технологии окорки с цеповыми рабочими органами» старшего преподавателя кафедры Лесного инжиниринга Палкина Е.В. используются при выполнении научно-исследовательской работы и дипломного проектирования студентов направления 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

Заведующий кафедрой
Лесного инжиниринга
СибГУ им. М.Ф. Решетнева
д-р с.-х. наук, доцент

Е. В. Авдеева

Приложение Ё

УТВЕРЖДАЮ:

Главный технолог

ООО «ДоК «Енисей»

Швалов А. С.

«25» сентября 2022 г.



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы на соискание учёной степени кандидата технических наук старшего преподавателя кафедры Лесного инжиниринга Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва Палкина Евгения Владимировича на тему: «Разработка технологии окорки с цеповыми рабочими органами».

Комиссия в составе:

Швалов Антон Сергеевич (председатель комиссии),

Чигаев Антон Владимирович (член комиссии),

Иванов Андрей Николаевич (член комиссии).

подтверждает, что результаты диссертационного исследования Палкина Е.В., были использованы и послужили основой для проектирования технологического процесса с применением цеповой ударной окорки тонкомерных круглых лесоматериалов для получения древесного биотоплива (пеллет) и технологической щепы.

Внедрение цеповой окорочной технологии повысит объем использования древесного сырья с единицы площади лесосеки, что актуально в перспективе перехода предприятия на интенсивное лесопользование и строительстве в Красноярском крае целлюлозно-бумажных предприятий - основных потребителей балансовой древесины и технологической щепы. Целесообразно изготовить и апробировать опытный образец мобильной цеповой окорочной установки на верхнем складе. С целью внедрения данной окорочной технологии, просим СибГУ им. М.Ф. Решетнёва разработать рабочие чертежи установки, выполнить технико-экономическое обоснование и смету затрат на изготовление, монтаж и наладку.

Председатель комиссии

подпись

/ А.С. Швалов /

Члены комиссии

подпись

/ Чигаев А.В. /

подпись

/ А.Н. Иванова /