

УДК 674.81  
Обзор

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАЦИЙ ПЕРЕРАБОТКИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЩЕПУ НА ЦЕЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ КОМБИНАТЕ

Людмила А. Девятникова<sup>1\*</sup>, Наталья А. Доспехова<sup>1</sup>, Марина И. Раковская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина 33, 185910, Петрозаводск, Россия; e-mail: dev@petrstu.ru (Л. А. Д.); dospeh@petrstu.ru (Н. А. Д.); MRakovskaya@petrstu.ru (М. И. Р.)

\* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: dev@petrstu.ru (Л. А. Д.)

*Получена: 4 марта 2017 / Принята: 18 марта 2017 / Опубликовано: 27 марта 2017*

---

**Аннотация:** На основании анализа путей эффективного использования ресурсов при подготовке круглых лесоматериалов к переработке на щепу сделан вывод о необходимости проведения комплексного исследования причины образования некондиционной щепы. Качество древесного сырья, технология его сортирования и раскряжки перед подачей на окорку оказывают влияние на объем потерь и качество щепы. В этой связи рациональной будет сортировка лесоматериалов по диаметру, длине, степени механических и биологических повреждений, а также предварительная сортировка бревен с учетом расстояния между пилами слесера, позволяющая получать балансы стандартной длины. Использование слесера для распиловки лесоматериалов на балансы неизбежно приводит к образованию коротких отрезков бревен. Эти отрезки при существующих технологиях не могут быть эффективно переработаны в технологическую щепу. Необходимо либо устанавливать специальные линии для переработки коротких отрезков бревен, либо на стадии распиловки длинных бревен исключать их образование. Конструкции транспортного оборудования и корообдирочного барабана требуют доработки с учетом больших различий размерных характеристик балансов. Процессы измельчения балансов и последующей сортировки полученной щепы должны иметь возможность регулировки с учетом параметров перерабатываемого сырья. Рубительные машины и сортировки щепы древесно-подготовительного производства требуют конструктивной доработки. Комплексное решение этих задач позволит сократить количество древесных отходов, уменьшить затраты энергоресурсов, повысит уровень ресурсосбережения на всех стадиях производства.

**Ключевые слова:** лесоматериалы круглые, раскряжка, окорка, щепы.

---

*Review*

## **COMPLEX ANALYSIS OF OPERATIONS OF ROUNDWOOD PROCESSING INTO TECHNOLOGICAL CHIPS AT THE PULP AND PAPER MILL**

**Ludmila A. Devjatnikova<sup>1\*</sup>, Natalia Dospheva<sup>1</sup>, Marina Rakovskaya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Petrozavodsk State University, Lenin av. 33, 185910 Petrozavodsk, Russia; E-Mails: dev@petsu.ru (L. A. D.); dospheh@petsu.ru (N. D.); MRakovskaya@petsu.ru (M. R.)

\* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: dev@petsu.ru (L. A. D.)

*Received: 4 March 2017 / Accepted: 18 March 2017 / Published: 27 March 2017*

---

**Abstract:** Based on the analysis of ways of efficient use of resources in the preparation of round timber for processing on chips, a conclusion is drawn on the need for a comprehensive study of the cause of the formation of substandard chips. The quality of wood raw materials, the technology of its sorting and cross-cutting before feeding to debarking affect the volume of losses and the quality of wood chips. In this regard, it will be rational to sort timber according to its diameter, length, degree of mechanical and biological damage, and also preliminary sorting of logs, taking into account the distance between saws of the slasher, allowing to obtain balances of standard length. The use of a slasher to cut timber into balances inevitably leads to the formation of short pieces of logs. These segments with existing technologies can not be efficiently processed into technological chips. It is necessary either to install special lines for the processing of short pieces of logs, or at the stage of sawing long logs to exclude their formation. The structures of the transport equipment and the scoop drum need to be modified taking into account the large differences in the dimensional characteristics of the balances. The processes of grinding the balances and subsequent sorting of the obtained chips must be able to be adjusted taking into account the parameters of the processed raw materials. Chippers and chip screens of wood-preparation process require a structural refinement. The complex solution of these tasks will reduce the amount of wood waste, reduce energy costs, increase the level of resource saving at all stages of production.

**Keywords:** roundwood, cposs-cutting, debarking, wooden chips.

---

## Постановка проблемы

Измельченная древесина в различных своих формах, прежде всего в виде щепы, является неотъемлемым компонентом современной структуры промышленного производства и потребления. Представляя собой продукт переработки круглых лесоматериалов, измельченная древесина в больших объемах используется в качестве основного сырья в целлюлозно-бумажной промышленности, в производстве топливных брикетов, гранул и других видов биотоплива, в гидролизном производстве и т. д. [82].

Наращивание выпуска продукции указанными производствами предполагает и наращивание объемов выпуска щепы, а, следовательно, и потребления необходимых для этого ресурсов. Так, например, в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) на выпуск одной тонны целлюлозы требуется от 4 до 6 м<sup>3</sup> подлежащей измельчению древесины, до 450 кВт-ч электроэнергии, до 180 м<sup>3</sup> воды. В этой связи особую актуальность приобретают задачи поиска и совершенствования технологических решений, направленных на реализацию потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу.

Рост требований потребителей к качеству и номенклатуре выпускаемой продукции ведет к необходимости изменения структуры производства и потребления измельченной древесины. Что в свою очередь ставит задачу обоснования новых и модернизации существующих технологических процессов подготовки измельченной древесины к дальнейшему эффективному и экологически безопасному использованию.

Важно отметить, что поскольку древесина является возобновляемым ресурсом, то совершенствование технологий ее переработки должно отвечать и требованиям рационального природопользования.

Решение появляющегося в связи с вышесказанным комплекса многоплановых задач особенно актуально для развития тех регионов России, в экономике которых приоритетное место занимает лесопромышленный комплекс.

Целью обзора является анализ технологических операций переработки круглых лесоматериалов в технологическую щепу для определения возможных путей ресурсосбережения на всех этапах древесно-подготовительного цикла целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК). Для этого в работе рассмотрены факторы, влияющие на выход щепы, виды щепы и технологии ее получения. Основное внимание уделено производству щепы на ЦБК.

## Технология древесно-подготовительного цикла и возможности ресурсосбережения

1. Щепка как вид измельченной древесины и конечный продукт древесно-подготовительного цикла

Измельченной древесиной в соответствии с нормативной документацией [32] называют древесные частицы различной формы и крупности, получаемые в результате механической обработки. Устанавливаются следующие виды измельченной древесины:

- 1) *технологическая щепка* (требования определяются согласно стандарту [29]);

- 2) *зеленая щепа* – щепы, содержащая примеси коры, хвои и (или) листьев;
- 3) *топливная щепы* – общих требований не существует, так как фракционный состав определяется технологией сжигания;
- 4) *дробленка* – древесные частицы, полученные при измельчении древесины на дробилках и молотковых мельницах;
- 5) *древесная стружка* – тонкие древесные частицы, образующиеся при резании древесины;
- 6) *древесные опилки* – мелкие частицы древесины, образующиеся в процессе пиления древесины;
- 7) *технологические древесные опилки* – опилки, пригодные для производства целлюлозы, древесных плит и продукции лесохимических и гидролизных производств;
- 8) *древесная мука* – древесные частицы заданного гранулометрического состава, полученные путем сухого механического размола древесины;
- 9) *древесная пыль* – несортированные древесные частицы размером менее 1 мм.

Измельченная древесина может быть получена в виде отходов основного производства или произведена для определенного использования на специализированной технологической линии. Различают несколько уровней дробления древесины:

- 1) *Первичное измельчение древесины*, при котором формируется в основном длина частиц. Наиболее распространенный способ – получение щепы в рубительных машинах различного типа. Этот уровень наиболее энергозатратен, поскольку осуществляется резание древесины поперек волокон, то есть в направлении наибольшей прочности древесины;
- 2) *Доизмельчение древесных частиц*, то есть дополнительное измельчение щепы, стружки в стружечную или волокнистую массу, частицы которой имеют вполне определенные размеры.

Для подготовки кондиционного продукта с определенным гранулометрическим составом, отвечающим требованиям технологии, полученную щепу разделяют на фракции по критерию крупности частиц. Для этого обычно используют гирационные установки с поэтажной компоновкой наклонных сит, под которыми установлен поддон для сбора мелких частиц в виде опилок и других примесей. Сита имеют определенные размеры ячеек. Крупная фракция с верхнего сита может быть повторно измельчена, а самые мелкие частицы с поддона направляются на сжигание.

Крупную фракцию щепы доизмельчают в дезинтеграторах. В таких машинах можно также измельчать кусковые отходы лесопиления и деревообработки. Полученную после доизмельчения и сортирования щепу добавляют к основной массе технологической щепы [14].

В современных условиях применение измельченной древесины не ограничивается только областями, указанными в ГОСТ 15815–83 «Щепы технологическая. Технические условия». При достаточном обосновании с учетом требований рационального природопользования измельченная древесина может использоваться и в других целях [66, 73].

## 2. О взаимосвязи технологических операций древесно-подготовительного цикла

Древесно-подготовительный цикл представляет собой последовательность технологических операций, на входе которой – круглые неокоренные лесоматериалы, а на выходе – технологическая щепка, являющаяся, в свою очередь, сырьем для варки целлюлозы. В настоящее время он может осуществляться как на ЦБК, так и за его пределами, например, на лесосеке [67]. Однако в условиях России технологическую щепку достаточно высокого качества получают в древесно-подготовительных цехах на целлюлозно-бумажных комбинатах [60].

Поступающие на комбинаты круглые лесоматериалы одной породы (например, ель) имеют значительный разброс древесиноведческих характеристик и, как следствие, физических и механических свойств, что обусловлено разнообразием естественных условий жизни деревьев. В то же время для получения качественной продукции переработки этих лесоматериалов и для уменьшения количества отходов необходима однородность указанных характеристик и свойств в той мере, насколько это технически возможно и экономически целесообразно [9].

Поскольку обеспечить полную однородность этих характеристик и свойств не представляется возможным, то целям ресурсосбережения, очевидно, отвечает максимально ранняя отбраковка тех предметов труда, дальнейшая переработка которых приведет к появлению некондиционной продукции. Например, так называемые короткомеры, поступающие после окорки на рубительную машину, приводят к увеличению доли некондиционной щепы на выходе из рубительной машины. Поэтому короткомеры отбраковываются до их подачи в корообдирочный барабан, чтобы избежать непроизводительных затрат на их транспортировку и очистку от коры.

Древесно-подготовительное производство предназначено для того, чтобы минимизировать отходы и вовлечь в основной процесс максимально возможный объем сырья [30, 45].

Проблемы приготовления щепы для производства целлюлозы, привлекают большое внимание производителей и исследователей, поскольку качество сырья оказывает основное влияние на режим варки целлюлозы [42, 64, 72], ее выход, количество отходов сортирования, прочностные свойства полуфабриката и, в конечном итоге, на себестоимость продукции. Поскольку доля древесного сырья в себестоимости целлюлозы составляет не менее 50 %, то проведение комплексного исследования в целях повышения качества технологической щепы с учетом требований ресурсосбережения и рационального природопользования представляется авторам весьма важной задачей [3, 4, 11, 28, 40, 41].

Необходимость совершенствования технологических операций и соответствующего оборудования обусловлена новыми, более высокими требованиями к производительности последнего, к уменьшению затрат энергии и других ресурсов на выпуск полуфабриката и конечной продукции более высокого качества. В этой связи появляется ряд многоплановых и достаточно сложных проблем, каждая из которых требует решения взаимосвязанных задач.

Так как качество продукции, затраты энергии и других ресурсов на её выпуск зависят от технико-экономических показателей, конструктивных характеристик оборудования и технологических параметров на всех стадиях, то, очевидно, необходимо совершенствовать не только древесно-подготовительное производство в целом, но и отдельные его технологические звенья с учетом их согласованности. Однако, как показал обзор литературы, в большинстве известных публикаций исследуется, как правило, одна из технологических операций древесно-подготовительного цикла [2, 43, 46]. К числу немногочисленных работ, в которых рассматривается взаимосвязь отдельных технологических операций древесно-подготовительного цикла, относятся монографии [2, 7, 24]. В целом же проблема анализа и реализации потенциала ресурсосбережения с учетом современных условий требует продолжения исследований. В предлагаемой работе исследованы некоторые задачи, направленные на решение этой проблемы, приведены обоснования их решений.

### 3. Анализ возможностей ресурсосбережения в существующей технологии производства щепы

#### 3.1. Приемка и хранение круглых лесоматериалов

Функциональное назначение этой технологической стадии: количественная и качественная оценка, межоперационная транспортировка и временное хранение поступивших на переработку круглых лесоматериалов.

В работе [53] рассмотрен ряд методик по определению выхода подготовленного сырья и количества отходов с учетом коры в зависимости от качества поступившей от лесозаготовителей древесины. В работе [38] достаточно подробно описаны способы складирования и условия хранения лесоматериалов.

Основными факторами, определяющими технологическую схему склада сырья, являются способы поставки и сортиментный состав древесины.

Процесс хранения сырья оказывает существенное влияние на качество получаемого из него полуфабриката и технологию работ на складе. Способ хранения должен создавать условия для механизации перегрузочных и транспортных работ.

С приёмной площадки (см. рисунок 1) древесина в пачках поступает на раскатной стол, затем - в разобщик бревен (см. рисунок 2), откуда поперечным цепным конвейером транспортируется таким образом, чтобы был образован однослойный поток бревен, подаваемых на слешерную установку для раскря на балансы (см. рисунок 3).





Рисунок 1 – Приёмная площадка круглых лесоматериалов  
древесно-подготовительного цеха



Рисунок 2 – Раскатной стол и разобщик бревен



Рисунок 3 – Круглые лесоматериалы на разобшителе бревен перед подачей на слешерную установку

Выделим факторы [30, 45], которые определяются на стадии подготовки круглых лесоматериалов к раскрою и влияют на качество технологической щепы: породный состав, плотность древесины, пороки и дефекты, однородность партии, размерные характеристики.

Что касается длины поступивших балансов, то если она не будет кратна шагу пил при раскросе, то неизбежно образуются короткие отрезки бревен, негативное влияние которых на качество технологической щепы описано в работах [17, 34, 37]. Балансы различного диаметра, а также имеющие явную кривизну, видимые и невидимые повреждения ухудшают процесс отделения коры [2, 24, 56].

На операции приемки возможно производить наряду с количественным учетом и сортировку нераспиленной древесины до поступления ее на слешерную установку. Сортировка на этапе приемки круглых лесоматериалов, несомненно, приведет к уменьшению отходов на стадии древесно-подготовительного цикла и к улучшению качества технологической щепы. Следует заметить, что введение сортировочных линий на этом этапе технологического цикла лесопиления учитывая их металлоемкость и значительность занимаемой площади потребует существенных инвестиций в их строительство и содержание. И, тем не менее, во многих работах обозначается необходимость предварительной сортировки круглых лесоматериалов [38, 45, 60]. «Если годовая производительность бревнопильного оборудования выше 20...30 тыс. м<sup>3</sup> бревен в год, то применение линии для сортировки бревен по размерным и качественным характеристикам становится обязательным. При использовании закрытого метода распиловки бревен раскрой низкокачественного сырья неэффективен: получаемые пиломатериалы будут иметь низкую стоимость либо отбраковываться, а затраты на их производство останутся



неизменными» [70].

Существуют различные методы учета и сортировки круглых лесоматериалов. В настоящее время в России применяется около десяти различных рабочих методов учёта круглых лесоматериалов [57]:

1. Поштучный метод учёта брёвен по верхнему диаметру.
2. Поштучный секционный метод учёта.
3. Поштучный метод учёта хлыстов.
4. Штабельный метод учёта круглых лесоматериалов.
5. Весовой метод учёта круглых лесоматериалов.
6. Метод учёта круглых лесоматериалов по сухой массе.
7. Метод учёта по числу брёвен в партии.
8. Учёт круглых лесоматериалов по числу пакетов в партии.
9. Пакетный метод учёта круглых лесоматериалов.
10. Штабельный метод учёта на складе по приёмке.

Выбор метода необходимо осуществлять с учетом особенностей производства и технико-экономического обоснования.

Например, поштучный метод оценки круглых лесоматериалов не дает необходимой точности с учетом их дальнейшего раскроя. Кроме того, поступающие на целлюлозно-бумажное производство балансы невозможно рассортировать поштучно, что приводит к отказу от приемки целых партий балансов (вагонных или судовых) при наличии в партии значительной доли брака [45].

Автоматизированный штабельный метод учета круглых лесоматериалов предусматривает автоматизированное измерение складочного объема штабелей или объема круглых лесоматериалов. При этом штабель должен соответствовать требованиям к укладке. Известны следующие установки для автоматизированного измерения штабелей лазерным сканированием: «Фотоскан» (Россия), «Кодатор Модус 2000» (Финляндия) [57]. Приемлемый уровень погрешностей таких измерений поддерживается обязательным выборочным контролем погрешностей учета, который проводится по описанной ниже процедуре.

Объем выборки должен быть не менее 0,2 % штабелей сортиментов, учтенных данным методом. Отбор штабелей в выборку должен быть случайным и проведен после регистрации учетчиком результатов рабочего измерения штабеля. Для каждого бревна в штабелях выборки должен быть измерен объем арбитражным методом концевых сечений и их сумма.

Погрешность автоматических измерений штабельным методом признают удовлетворительной, если: для отдельного штабеля она не превышает  $\pm 12,0$  %; погрешность для последних штабелей, попавших в выборку с общим объемом 400 м<sup>3</sup> и более, не превышает  $\pm 5,0$  %.

Учитывая, что требования к точности сортировки в последнее время только увеличиваются [31] применение «простых» одно- и двух- плоскостных измерительных

систем с качеством сортировки (непоставностью) от 75 % до 85 % постепенно сворачивается в пользу более современных 3D систем, которые позволяют измерять и рассчитывать основные геометрические параметры бревна с высокой достоверностью и достичь качества сортировки 92 %...95 %. Известны приборы, работающие с инфракрасными излучателями, например, измеритель бревен производства компании «Автоматика-Вектор» (г. Архангельск) [22]. В их конструкцию входят специальный компьютер (контроллер) и две или четыре измерительные линейки, которые при измерении бревна располагаются вертикально по обеим его сторонам. На каждой линейке имеется множество инфракрасных излучателей и приемников. В момент обнаружения объекта прибор автоматически переключается в режим измерения. Одно бревно может быть измерено в сотнях и тысячах точек. Его реальный диаметр выбирается из множества полученных значений по специальному алгоритму, который отсеивает мешающие факторы. Результатом измерений являются все геометрические параметры бревна.

Функционально похожий прибор производится и еще одной российской фирмой «Воронежпромавтоматика» – это измеритель диаметров и длин бревен ИДД-2.

В современных приборах используется оптико-звуковой способ измерения бревен. Например, при помощи универсальной измерительной установки «Экорондер» фирмы Necht-Electronic (Германия) можно выполнять перекрестное измерение бревен. Аналогичный измеритель бревен от фирмы Baljer & Zembrod (Германия) имеет подвижный передатчик и неподвижно закрепленный приемник с устройством для обработки полученных данных. В течение всего процесса измерения производится контроль погрешности измерений, а оптические и ультразвуковые датчики подвергаются функциональному контролю. Во время измерений скорость подачи бревен ограничивается 60 м/мин.

Кроме оптических и ультразвуковых датчиков, применяются и лазерные.

Лазерный измеритель бревен «Вектор 3D» («Автоматика-Вектор») состоит из трех или четырех измерительных головок (камера+лазер), промышленного ПК, источника резервного питания и шкафа управления. Например, измерение кривизны, овальности, сбежистости 3D сканером ВЕКТОР дает дополнительный эффект при сортировке за счет специальных функций:

- уменьшение сортировочного диаметра в зависимости от кривизны;
- отбраковка бревен с большими наростами (сучками);
- автокачество – функция присвоения сорта бревну в зависимости от сочетания некоторых геометрических признаков.

Фирма Visiometric из Финляндии представила Elmes 3600 – измеритель бревен, использующий четыре лазерных луча, направленных перпендикулярно движению бревна. Трехматричные камеры сканируют лазерное изображение поперечно и в результате формируют полное изображение пиловочного бревна при скорости его движения до 120 м/мин. Бревна сортируются по длине и диаметру. Точность измерения диаметра – 1 мм, длины – 1 см, определения объема – 1%. Масса прибора – 650 кг [22].

Российский измеритель геометрических параметров бревен «АЛМАЗ» предназначен

для работы в качестве автоматического средства измерения параметров бревен и может применяться как самостоятельно, так и в составе автоматизированных систем управления сортировочными и раскряжевочными линиями, систем учета сырья на всех участках предприятия, систем адаптивного управления лесоперерабатывающим оборудованием.

Преимущества при применении измерителя бревен «АЛМАЗ» и технологических решений на его основе: увеличение выхода готовой продукции; снижение производственных издержек; контроль качества поступающего сырья; исключение «человеческого фактора» при приемке круглого леса; уменьшение числа занятых людей; высокая точность измерений; большое количество определяемых параметров; возможность интеграции в любую систему управления технологическим оборудованием; возможность передачи данных в ПО верхнего уровня управления производством.

Как видно из вышесказанного, выбор приемно-сортировочного оборудования для приемки круглых лесоматериалов достаточно широк. Необходимость же его применения на том или ином предприятии должна быть технологически обоснована и экономически целесообразна.

### 3.2. Раскрой круглых лесоматериалов на слешерной установке

Слешерная установка (слешер) предназначена для раскроя поступивших от лесозаготовителей круглых лесоматериалов на балансы нужной длины.

Слешер – это станок непрерывного действия для распиливания хлыстов и других лесоматериалов на несколько частей за одно надвигание без чередования его с обратным ходом. Относится он к многопильным станкам, необходимым для распиловки лесоматериалов на части определенных размеров (см. рисунок 4).

При поперечном пилении древесины основную работу по перерезанию волокон выполняют боковые режущие кромки и вершины зубьев. Передние грани зубьев отжимают перерезанные волокна от стенки пропила и скалывают их. Поэтому зубья делают с боковой заточкой [26].

Надвигание распиливаемых лесоматериалов на пилу является одновременно и движением подачи. Диаметр диска определяется толщиной бревна и обычно колеблется от 1000 до 1500 мм. Окружную скорость круглых пил принимают равной 50 - 70 м/с [38].

Расстояние между пилами выбирают так, чтобы избежать одновременного пиления всеми пилами. Для этого их располагают в определенном порядке и расстояние между ними принимают в зависимости от расстояния между рабочими органами механизма надвигания (см. рисунок 4). Преимущество этих многопильных станков с круглыми пилами заключается в том, что они позволяют обрабатывать большое количество древесных балансов. Количество пил слешера и расстояния между пилами выбираются в зависимости от длины распиливаемых стволов и заданной длины отрезков.



Рисунок 4 – Слешерная установка с четырьмя пилами

Рассмотрим работу слешерной установки на примере конкретного ЦБК, специализирующегося на производстве газетной бумаги. Длина, подаваемых на распил круглых лесоматериалов составляет от 3 до 6,5 метров. Слешер оборудован 4 пилами с расстоянием между ними 1,25 м (см. рисунок 4). Расстановка пил с таким шагом позволяет получать балансы требуемой длины – 1,2 м. Для рубительных машин технически возможна длина балансов и более 1,2 м [7]. Однако указанная длина (1,2 м) продиктована конструктивными характеристиками загрузочной шахты дефибрера на ЦБК, поскольку одна часть очищенных от коры балансов поступает на измельчение в рубительные машины, а другая часть – на переработку в дефибреры [50].

При существующей на предприятии расстановке пил на слешерной установке процесс образования короткомеров неизбежен, т. к. длина распиливаемых бревен не всегда кратна расстоянию между пилами. Поэтому на стадии раскроя древесины фактором, влияющим на дальнейшее качество щепы и на продуктивное расходование ресурсов, является соотношение количества балансов стандартного размера, длина которых составляет 1,2 м, и короткомеров. Наличие короткомеров в потоке балансов, подаваемых на измельчение в рубительную машину, оказывает отрицательное влияние на фракционный состав щепы [17, 33, 49]. Это, в частности, означает, что имеют место непроизводительные затраты энергии и времени на переработку короткомеров. Интенсификации процесса распиловки, а также минимизации отходов древесины на этой стадии древесно-подготовительного цикла посвящен ряд работ, попавших в наше поле зрения [38, 49, 69, 75, 78, 79]. Так, например, в работе [69] изучен процесс пиления лесоматериалов круглыми пилами и на этой основе разработаны рекомендации по эксплуатации круглопильных станков и круглых пил.

Таким образом, потенциал ресурсосбережения на данной технологической операции может быть реализован одним из нижеследующих вариантов:

- 1) изменение расстояния между пилами для минимизации образования короткомеров с учетом длины подаваемых на распил бревен;
- 2) удаление крайней пилы на слешере для исключения образования короткомеров (в этом случае возможно появление балансов, длина которых превышает стандартную, что является допустимым именно для производства щепы. Это возможно, т.к. рубительная машина позволяет обрабатывать балансы длиной до 3 м [7]. Однако, при принятии этого варианта необходимо рассмотреть возможность организации отдельного конвейера для подачи балансов в рубительную машину, если существующий ленточный или роликовый конвейер не рассчитан на транспортировку балансов такой длины.);
- 3) предварительная сортировка круглых лесоматериалов с учетом расстояния между пилами, позволяющая получать балансы стандартной длины;
- 4) организация отдельной линии для удаления и утилизации короткомеров при сохраненной технологии распила.

### 3.3. Транспортировка балансов на окорку

Назначение этой технологической операции – доставка распиленных балансов от слешерной установки к загрузочному устройству корообдирочного барабана посредством ленточного транспортера и роликового конвейера (рольганга).

На этапе транспортировки пиленой древесины в корообдирочный барабан для отбраковки короткомеров на конвейерах предусмотрены провалочные окна (см. рисунок 5). Однако при наблюдении за этим процессом выяснилось, что в провалочные окна попадают не все короткомеры. А значит часть их попадает в корообдирочный барабан, что приводит к нерациональным затратам времени, энергии и других ресурсов на их обработку, при том, что окорка является дорогостоящей и трудоемкой операцией в подготовке древесного сырья [38]. На рисунке 6 показан короткомер в общем потоке балансов, миновавший провалочные окна. Одной из причин того, что короткомер миновал провалочные окна, является сцепление балансов разной длины в один массив, чему способствуют большие силы трения по боковой поверхности контактирующих балансов, а также наличие сучков и неровностей. Для преодоления этих сил и разобщения балансов необходимо определенное динамическое воздействие, что, однако, не предусмотрено существующей конструкцией рольганга.

В качестве потенциала ресурсосбережения на стадии транспортировки можно предусмотреть изменение конструкции роликов конвейера с целью создания циклически повторяющихся вертикальных перемещений транспортируемых лесоматериалов. Это, предположительно, даст технический эффект, выражающийся в повышении эффективности автоматической сортировки по длине перемещаемых с помощью рольганга лесоматериалов, т. е. к более качественной отбраковке короткомеров для предотвращения попадания их на дальнейшую обработку. Техническая реализация такой модернизации рольганга вполне осуществима и не требует больших затрат на ее реализацию [58].



Рисунок 5 – Провалочные окна на транспортере для удаления короткомеров



Рисунок 6 – Балансы на поворотном участке конвейера, прошедшие провалочные окна

Предлагаемое оборудование в виде секции рольганга предназначено для повышения эффективности сортировки лесоматериалов по критерию длины в процессе их транспортировки с помощью рольганга, а именно – для разделения множества элементов, длина которых меньше или равна требуемой длине, на два подмножества, одно из которых образовано элементами, длина которых равна требуемой длине, а другое подмножество образовано элементами, длина которых меньше требуемой длины, что необходимо на стадии древесно-подготовительного цикла предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, где перед подачей круглых лесоматериалов на переработку в рубительную машину выполняется отбраковка так называемых короткомеров.

Техническая реализация секции, встраиваемой в существующий рольганг, схематически показана на рисунке 7.

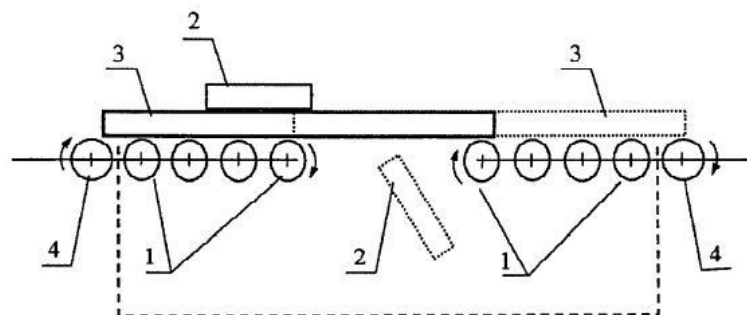


Рисунок 7 – Усовершенствованная конструкция секции рольганга

Указанная секция, очерченная на рисунке пунктирной линией, содержит две группы овальных роликов 1, размещенных между роликами круглого сечения 4, направление



вращения которых на схеме указано дугообразными стрелками. Ролики приводятся в синфазное вращение электродвигателями с передаточными механизмами, например, в виде роликовых цепей. Наличие овальных роликов 1, а также размер проёма по направлению перемещения, не превышающий половины длины элемента кондиционной длины, обеспечивают беспрепятственное перемещение элементов 3 кондиционной длины по рольгангу. Точечной линией на рисунке изображены положения элементов после прохождения ими указанного выше проёма. Овальные ролики 1, принудительно вращаемые относительно своих продольных осей, сообщают находящимся на секции рольганга элементам не только горизонтальное перемещение, но и периодически изменяющееся во времени вертикальное перемещение. Тем самым создается динамическое воздействие, которое необходимо для преодоления указанных выше сил сцепления коры короткомеров с корой элементов кондиционной длины. В итоге такого воздействия, обеспечиваемого предлагаемым техническим решением, короткомеры 2 отделяются от балансов стандартной длины 3 и под действием собственного веса проваливаются в указанный выше проём, поступая на дальнейшую переработку. Балансы же стандартной длины 3 не проваливаются в проём, поскольку размер проёма в направлении продольного перемещения не превышает половины длины стандартного элемента 3. Тем самым достигается заявленный технический эффект, выражающийся в повышении эффективности автоматической сортировки по длине перемещаемых с помощью рольганга лесоматериалов. Конкретным выражением эффективности является повышение качества выпускаемой продукции, сокращение непроизводительного расхода энергии и ресурсов оборудования.

#### 3.4. Очистка от коры в корообдирочном барабане

Очистке от коры (окорке) подлежат все лесоматериалы либо по условиям применения их в готовом виде, либо по условиям их дальнейшей переработки [2, 55]. Балансы, используемые в целлюлозно-бумажном производстве, должны быть подвержены чистой окорке, т. к. продукция высокого качества требует высокой степени очистки древесины от коры.

Окорка древесины относится к одной из наиболее дорогих и трудоемких операций, технология которой зависит от физико-механических свойств и состояния коры на древесине. Вследствие этого процесс окорки древесины всегда организуется с непременным учетом особенностей структуры, механической прочности коры, сил ее сцепления с древесиной. Для облегчения удаления коры с древесины весьма часто процессу окорки предшествует предварительная подготовка древесины, направленная на повышение влажности и, в холодное время года, температуры. Так еловый баланс, заготовленный из свежесрубленной древесины, хорошо окоряется при влажности коры не ниже 50 %. С понижением влажности качество окорки постепенно ухудшается и при влажности ниже 40 % прекращается полностью [38].

На ЦБК для окорки используют корообдирочные барабаны, рассчитанные на групповую окорку древесины при непрерывном вращении. Широкое распространение

корообдирочных барабанов в целлюлозно-бумажном производстве объясняется их сравнительно высокой производительностью и способностью хорошо вписываться в технологические потоки древесно-подготовительных цехов [38, 54]. Оптимальные условия окорки древесины создаются при заполнении сечения барабана примерно на 60 %, при котором работа трения соответствует максимуму. При очистке балансов от коры в корообдирочных барабанах необходимо учитывать внешние и внутренние повреждения волокон. Влияние скрытых и видимых повреждений балансов при сжатии вдоль волокон на качество щепы и, как следствие, целлюлозы и бумажного полотна рассмотрено в работах [36, 47].

В работах [2, 8, 18, 23, 24, 56, 59, 71] обращено внимание на необходимость подбора конструктивных и технологических параметров корообдирочных барабанов, позволяющих уменьшить избыточно большие силы, возникающие при взаимодействиях балансов друг с другом и с корпусом барабана, поскольку последние приводят к «размочаливанию» их торцов (см. рисунок 8) [56].

В работе [34] отмечено, что в корообдирочном барабане древесина сортиментов длиной 0,8 м и менее повреждается в существенно большей степени, чем древесина балансов, длина которых равна 1,2 м и более. Т. е., и на этой технологической стадии выявляется негативное влияние короткомеров, выражающееся в нерациональных затратах ресурсов на сырьё, заведомо малопригодное для производства кондиционной технологической щепы.



Рисунок 8 - Повреждения древесины после очистки в корообдирочном барабане

В качестве иллюстрации к изложенным выше рассуждениям на рисунке 9 схематично изображена модель баланса в виде прямого кругового цилиндра диаметром  $D$  и длиной  $L = k \times D$ , где  $k$  – параметр, равный отношению длины к диаметру баланса,  $k \geq 2$ . Количественные характеристики зависимости объема средней части от параметра  $k$  приведены в таблице 1.

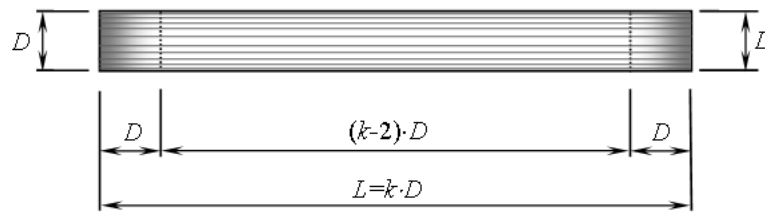


Рисунок 9 - Схема баланса с повреждаемыми областями вблизи его торцов на отрезках, примерно равных диаметру

Таблица 1- Зависимость объема средней части от параметра длины  $k$

$k$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	50
Доля средней части в объеме баланса ( $1 - 2/k$ )	0,00	0,33	0,50	0,60	0,67	0,71	0,75	0,78	0,80	0,90	0,93	0,96

Представленные в таблице 1 данные показывают, что при  $k \geq 20$  увеличение доли объема средней части баланса, из которой на рубительной машине получается наиболее качественная щепка, существенно замедляется. С изменением значения  $k$  от 20 до 30 и от 30 до 50 доля объема средней части баланса возрастает всего лишь на 3 %. Такое небольшое приращение может находиться в пределах погрешности эксперимента.

Таким образом, для обработки в корообдирочном барабане могут быть рекомендованы длины балансов, отвечающие значениям  $10 \leq k \leq 20$ . Эта рекомендация согласуется с результатами производственных испытаний, представленных в работе [34], согласно которым выход кондиционной щепы возрастал, если длина поступающих на рубительную машину балансов превышала общепринятое в настоящее время значение 1,2 м и находилась в пределах от двух до трех метров. Дальнейшее увеличение длины балансов ограничено конструктивными особенностями рубительной машины и может оказаться неэффективным, что, в частности, следует из приведенных в таблице 1 данных.

В работах [17, 33, 37] представлены данные о негативном влиянии короткомеров, прошедших все стадии древесно-подготовительного цикла на качество технологической щепы. Согласно экспериментальным данным наибольший выход технологической щепы получается из балансов длиной от 1,2 до 2,5 м. При добавлении же к ним короткомеров выход технологической щепы уменьшается, а выход крупной некондиционной щепы и отсева увеличивается.

С учетом изложенного выше материала, в качестве потенциала ресурсосбережения на стадии удаления коры можно предложить следующее:

1) подбор конструктивных и технологических параметров корообдирочных барабанов, которые позволят если не полностью исключить, то уменьшить возможность появления как избыточно больших сил при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана, так и сил, недостаточных для разрушения коры и, следовательно, для очистки баланса;

2) исключение (ограничение) поступления короткомеров в корообдирочный барабан для уменьшения непроизводительных затрат времени, труда и других ресурсов, направленных на окорку массива балансов.

### 3.5. Измельчение балансов на щепу

Щепа представляет собой измельчённую древесину в виде частиц установленных размеров и формы. Получение щепы происходит в результате переработки древесного сырья рубительными машинами и специальными устройствами и напрямую зависит от их параметров [5, 6, 44, 51, 74, 76, 80]. Требования к технологической щепе для целлюлозно-бумажного производства регламентируются условиями технологического процесса варки целлюлозы.

Машины для измельчения древесины можно классифицировать по следующим критериям [68]:

- отрасли применения – лесозаготовка, лесопиление, деревообработка и мебельное производство, плитные и ЦБ производства, утилизация отходов;
- типу рабочего органа машины – дисковая, барабанная (барабанные машины могут быть ножевые, резцовые или молотковые) и роторная (так называемые шредеры);
- мобильности – стационарные или мобильные машины;
- типу загрузки – горизонтальная или наклонная (машины с наклонной загрузкой не имеют привода подачи, и загрузка сырья происходит под собственным весом; машины с горизонтальной загрузкой могут иметь привод подачи или загружаться с подающего транспортера);
- типу выгрузки материала – вверх в циклон или кучу либо вниз на транспортер или приемный патрубок пневмотранспортной системы.

Сегодня как отечественные, так и зарубежные производители могут предложить измельчающие машины для переработки в щепу круглых и колотых лесоматериалов, низкокачественной древесины, отходов лесопиления и деревообработки, лесосечных отходов и древесного лома [77, 81]. Также в широком ассортименте выпускаются передвижные рубительные машины с различными типами привода для специального применения. Этот сектор рынка активно развивается и во многих работах рассмотрены вопросы применения, назначения и конструктивных особенностей передвижных рубительных машин [25, 27, 39, 46, 51, 52, 60, 65, 66, 67, 83, 84].

Для получения технологической щепы применяют в основном дисковые и барабанные машины, тогда как роторные измельчители больше пригодны для получения топливной щепы.

Конструкция стационарных машин для получения технологической щепы традиционна, характеризуется высокой металло- и энергоёмкостью. Эти машины по конструкции подразделяют на два основных класса: дисковые и барабанные.

Наибольшее распространение при производстве технологической щепы получили дисковые рубительные машины, так как они обладают целым рядом очевидных

преимуществ. Среди них можно упомянуть относительную простоту эксплуатации и обслуживания, надежность в работе и возможность получения технологической щепы при переработке практически любых видов сырья [7, 21, 62].

В рубительных машинах древесина (обычно в виде круглых лесоматериалов) измельчается путем перерезывания (рубки) поперек волокон. Затраты энергии при этом достаточно велики, поскольку древесина как анизотропный материал при перерезывании поперек волокон имеет большую прочность по сравнению с перерезыванием в других направлениях относительно волокон. По причинам анизотропии, неоднородности и существенной вариабельности механических свойств древесины щепка по своему гранулометрическому составу на выходе из рубительной машины представляет собой неоднородный (полидисперсный) сыпучий материал в виде смеси частиц, различающихся геометрическими размерами и формой. Эти различия зависят не только от свойств измельчаемой древесины, а и от того, насколько удачна конструкция рубительной машины и насколько совершенна технология получения щепы [10]. Требования к гранулометрическому составу и к другим характеристикам щепы определяются целями её дальнейшего использования [29]. Наиболее высокие требования предъявляются к щепе, предназначенной для получения целлюлозы.

Базовая конструкция дисковой рубительной машины пригодна для переработки на щепу деревьев целиком (с ветками и листвой); круглых лесоматериалов; отходов лесозаготовок, фанерного производства и лесопиления.

Дисковые рубительные машины для производства технологической щепы делятся на следующие группы:

*в зависимости от профиля рабочего органа (механизма резания):*

- с плоским диском;
- с профильным (геликоидальным) диском;

*по мобильности:*

- передвижные (прицепные, полуприцепные, смонтированные на раме базового трактора);
- стационарные;

*по способу загрузки древесины:*

- с горизонтально расположенным питающим патроном;
- с питающим патроном, наклоненным в вертикальной плоскости;
- с комбинированной загрузкой, оснащенные двумя патронами;

*по способу удаления щепы из машины:*

- удаление щепы вверх по щепопроводу с помощью воздушного потока;
- удаление щепы вниз на транспортер;
- «безударное» удаление щепы, происходящее примерно по направлению подачи сырья в машину.

В основе процесса работы рубительных машин лежит рубка древесины в торцово-продольно-поперечном направлении.

Технологические потоки участков по производству щепы, где устанавливаются рубительные машины, предусматривают сортирование получаемого продукта. При этом из общей массы выделяются крупная фракция, мелочь и отсев. Крупная щепа может быть направлена на доизмельчение. После измельчения крупной щепы в дезинтеграторах (малых рубительных машинах преимущественно барабанного типа со специальной перфорированной решеткой, установленной под барабаном) или рубительных машинах вновь образуется до 40% отходов в виде мелкой фракции и отсева [13, 14, 15]. Полученную после сортирования щепу добавляют к основной массе технологической щепы.

Учет щепы ведут в насыпных кубометрах, которыми характеризуется «кажущийся» объем древесины, со всеми пустотами в измеряемом объеме щепы, и в плотных кубометрах – по этому показателю можно судить об объеме собственно древесины. Для перехода от одной меры к другой используется коэффициент полндревесности (см. табл. 2), который показывает, сколько плотных кубометров содержится в одном насыпном кубометре щепы.

Таблица 2 – Коэффициенты полндревесности

Размеры технологической щепы, мм	7×1,2×5	14×2,3×14	19×2,3×28	28×3,0×30
Коэффициент полндревесности	0,35	0,32	0,31	0,3

Для несортированной щепы коэффициент полндревесности принимают равным 0,32 [68].

При проведении исследования, описанного в работе [17], измельчение древесины в щепу производилось дисковой рубительной машиной со следующими техническими характеристиками: диаметр ножевого диска – 2500 мм; количество радиально расположенных на диске ножей – 15 штук; частота вращения диска – 365 мин<sup>-1</sup>. Конструкция машины рассчитана на переработку древесины длиной от 800 до 3000 мм, диаметром от 60 до 625 мм. Режущий аппарат в период исследований был настроен на производство щепы длиной 20 мм. Сырьем для производства щепы служили еловые балансы, причем встречались различные части ствола диаметром от 5 до 50 см. На рубительную машину балансы поступали непосредственно после корообдирочного барабана длиной от 10 см до 2,5 м. Содержание короткомеров в потоке сырья на конвейере между корообдирочным барабаном и рубительной машиной оценивалось визуально. По результатам этой оценки доля короткомеров в общем массиве балансов составляла от 38 до 68 %. Фракционный анализ щепы, вырабатываемой рубительной машиной, проводился в различное время суток. Для анализа отбиралась щепа, поступающая на сортировку после рубительной машины.

Согласно результатам проведенного исследования, уменьшение доли короткомеров в технологическом потоке сырья, направляемом в дисковую рубительную машину для переработки на щепу, с 68 % до 38 %, позволяет получить положительный технико-экономический эффект. Он выражается в том, что массовая доля кондиционной щепы повышается на 2,5 %. При этом доли крупной некондиционной щепы и мелких фракций



уменьшаются соответственно на 0,8 % и 1,7 %.

Увеличение количества крупной некондиционной щепы объясняется тем, что загрузочный патрон, рассчитанный на подачу к ножевому диску балансов длиной не менее 0,8 м, не в состоянии правильно расположить короткомеры при подаче. Они разворачиваются и вместо поперечно-торцевого резания происходит продольное и (или) поперечное. Это и вызывает рост доли крупной фракции в щепе при возрастании доли короткомеров в сырье, подаваемом в рубительную машину. А появление в щепе мелкой некондиционной фракции объясняется тем, что при групповой очистке от коры в корообдирочном барабане короткомеры подвергаются более сильным механическим повреждениям, тем самым провоцируя при производстве щепы повышение массовой доли мелкой фракции и отсева.

В работе [83] описан американский опыт производства щепы из целых деревьев и короткомеров. Уже принятое утверждение о том, что из короткомеров получается щепа худшего качества, авторы подвергают некоторому сомнению. По их мнению, щепу плохого качества могут давать не только короткомеры, но и необработанные целые стволы по причине наличия у них тонкой деформированной верхушки ствола и комлевой части со сложной геометрией. На фоне таких деформированных составляющих целого ствола короткомеры выглядят равномерными по длине и диаметру и поэтому, чтобы максимально увеличить выход кондиционной щепы из них, необходимо решить вопрос о стабильном положении балансов в загрузочном патроне рубительной машины, разработав и применив, например, фиксатор положения, давящий на баланс, не позволяя ему изменить ориентацию.

С учетом вышеизложенного материала, в качестве потенциала ресурсосбережения на стадии измельчения балансов в рубительной машине можно предложить следующее:

- 1) уменьшение доли короткомеров или их полное исключение в технологическом потоке сырья, направляемом в дисковую рубительную машину для переработки на щепу;
- 2) поскольку полностью исключить образование короткомеров в загрузочном устройстве рубительной машины технически невозможно (даже от баланса стандартной длины остаются в процессе измельчения короткомеры), то представляется возможным оборудовать загрузочное устройство (патрон) рубительной машины дополнительным фиксирующим роликом, который прижимал бы измельчаемый баланс к стенке патрона, но при этом не препятствовал бы продольному движению баланса к ножевому диску рубительной машины.

### 3.6. Фракционирование щепы

Оборудование для фракционирования древесной щепы по крупности частиц в настоящее время известно под названием «сортировки» [16].

Термин «сортировка» имеет два значения:

- 1 – установка для разделения (сепарирования) материалов по размерно-качественным, весовым, объемным и другим признакам (наиболее известны механические, пневматические, гидравлические и магнитные сортировки);

2 – процесс фракционирования сыпучих материалов по критериям: крупности частиц, формы, плотности материала и т.д.

Далее рассматриваются вопросы, связанные с фракционирования щепы по критерию крупности частиц.

*Фракция* – это совокупность древесных частиц, близких по своим геометрическим размерам, конкретные параметры которых устанавливаются стандартом [29].

Сортировки отличаются конструкцией, габаритами и производительностью. Механические сортировки щепы по конструкции можно разделить на две основные группы: барабанные и плоские.

Барабанные сортировки из-за своих больших габаритных размеров и низких удельных показателей применяются реже. Однако, благодаря высокой способности к самоочистке сит от хвойной лапки, два типоразмера этих сортировок используются в производстве технологической щепы из лесосечных отходов в лесозаготовительной промышленности.

Для механического сортирования щепы в целлюлозно-бумажной промышленности применяются, как правило, установки с плоскими ситами (решётами).

Щепа с рубительной машины транспортируется по пневматическому щепопроводу и поступает в циклон, где, входя по касательной к цилиндрической стенке, теряет скорость и падает в нижнюю часть циклона. Из циклона щепа попадает на ленточный транспортер и направляется в приёмный карман установки для фракционирования. Установка имеет несколько ярусов сит в зависимости от модели сортировки. Диаметр отверстий в сите верхнего яруса может быть равным, например, 40 мм или более, среднего яруса – 22 мм, нижних – от 5 до 7 мм. Несортированная щепа подается ленточным транспортёром в приёмный карман и распределяется по ширине верхнего сита. Благодаря наклону и вибрациям сита, частицы щепы перемещаются по поверхности сита, разделяясь на фракции (крупная щепа, технологическая (кондиционная) щепа, мелкая щепа, пыль и опилки), которые задерживаются, соответственно, верхним, средним, нижним ситами и поддоном ситового короба. Частицы, оставшиеся на ситах среднего и нижнего ярусов, объединяются в общий поток технологической щепы. Технологическая щепа, как продукт фракционирования, ленточным транспортером подаётся для дальнейшей переработки в варочный цех целлюлозно-бумажного комбината. Крупная щепа отдельным транспортером подается на доизмельчение (на дезинтегратор), после чего возвращается на установку для фракционирования. Опилки и пыль из поддона ситового короба направляются на утилизацию (обычно на сжигание в топках котлов).

Массовая доля фракции в виде опилок и пыли в щепе составляет около 1 %, но может возрастать до 3 % и более по причинам использования в качестве сырья мерзлой или низкокачественной древесины и затупления ножей рубительной машины [9, 12]. Наличие опилок и пыли в щепе при её дальнейшем использовании затрудняет циркуляцию растворов в варочных установках. Кроме того, мелкая фракция содержит повышенное количество частиц коры, обломков сучков, других загрязнений. Поэтому снижению количества образующихся опилок и пыли и их отделению отводится важная роль.

Доля крупной щепы, зависящая от конструкции рубительных машин и других факторов, может составлять от 4 % до 12 %. Обычно это вполне доброкачественная древесина, которая после повторного измельчения превращается в кондиционную щепу.

Технико-экономические характеристики оборудования для фракционирования щепы зависят от конструктивных и технологических параметров.

По траектории движения плоских сит установки для фракционирования щепы можно разделить на три класса:

1. С круговыми колебаниями сит в горизонтальной плоскости.
2. С круговыми (эллиптическими) колебаниями сит в вертикальной плоскости.
3. С прямолинейными колебаниями сит в горизонтальной плоскости.

В целлюлозно-бумажном производстве для фракционирования щепы преимущественно используются сортировки первого типа. Их принято называть «гирационными». Однако, результаты их исследования, проведенного в производственных условиях [12], показали, что конструктивные параметры указанного оборудования не обеспечивают требуемую эффективность сортирования.

В качестве потенциала ресурсосбережения на стадии фракционирования можно привести результаты некоторых исследований и разработок.

Так в работе [20] дано обоснование технического решения по модернизации оборудования сортировки с поэтажной компоновкой сит, при котором путем подбора соотношения рабочей длины и взаимного положения сит обеспечивается повышение эффективности отсева и качества технологической щепы без уменьшения производительности оборудования. В частности, в работе исследованы закономерности отсева на установках с поэтажной компоновкой сит неодинаковой рабочей длины.

Установлено, что с уменьшением на 25 % рабочей длины сита верхнего уровня по отношению к рабочей длине нижеследующего сита уменьшается содержание мелких некондиционных частиц в технологической щепе с 1,5 % до 0,7 %, что особенно важно для сокращения затрат ресурсов при варке целлюлозы и для повышения её качества. Дальнейшее уменьшение рабочей длины сита снижает производительность.

Соотношение рабочих длин верхнего и нижеследующего сит прямоугольной в плане формы рекомендуется в пределах от 0,8:1,0 до 0,7:1,0. При соотношении 0,75:1,0 в установках типа СЩ-120 относительное изменение концентрации проходных частиц в надрешётном продукте возрастает на 18 %.

Изменение рабочей длины сита технически рекомендуется осуществлять заменой финишного участка сита (например, длиной 0,4...0,5 м) стальным листом без отверстий, что не требует переделки ситового короба.

В этой же работе приведена формула полезной модели, предлагающей оптимальное соотношение длин сортирующих поверхностей сит сортировки, позволяющей осуществлять более качественное фракционирование щепы.

Применение вышеуказанных решений позволит минимизировать попадание некондиционных фракций к технологической (кондиционной) щепе. А поскольку

технологическая щепка является сырьем для производства целлюлозы, то наличие некондиционных фракций, в свою очередь, сказывается на ее качестве следующим образом:

- при малых размерах щепки улучшается пропитка и нагрев, но ухудшаются механические свойства целлюлозы как результат повреждения древесных волокон;
- варка более крупной щепки дает целлюлозу с высокими прочностными свойствами, но с неравномерным проваром и повышенным содержанием неперевара [48].

### **Заключение и выводы**

Учитывая сказанное выше можно констатировать, что фракционный состав щепки определяется качеством подготовки древесного сырья для рубительной машины на всех предшествующих этапах древесно-подготовительного цикла. Поэтому особую важность в этой связи приобретает проблема обоснования рекомендаций по совершенствованию их технологических решений и используемого оборудования. Лабораторными, производственными и теоретическими исследованиями, изложенными в монографиях [7] и [47], установлен ряд факторов, учет которых необходим при обосновании таких рекомендаций. Приведем их:

- 1) При сжатии древесины имеют место как внешние (видимые), так и внутренние (скрытые) повреждения волокон. Внутренние повреждения визуально не могут быть обнаружены, однако затрагивают значительное количество волокон. Сжатие древесины вдоль волокон влияет на снижение прочностных показателей целлюлозы в существенно большей степени, чем сжатие древесины поперек волокон. Например, пятипроцентная деформация сжатия древесины балансов вдоль волокон приводит в конечном счете к снижению прочностных показателей целлюлозы на 16 – 23% [7, 47].
- 2) В балансах внутренние повреждения при сжатии вдоль волокон распределяются по длине неравномерно. Наибольшие разрушения появляются вблизи торцов баланса. Можно считать, что такие повреждения распространяются от торцов на длину, примерно равную диаметру баланса.
- 3) При переработке балансов на щепу деформация частиц щепки вдоль волокон может достигать 20 % в зависимости от конструктивных и технологических параметров рубительной машины, что существенно снижает качество целлюлозы [7] и бумажного полотна [47].

Следует отметить, что внешние и внутренние повреждения волокон появляются не только при измельчении балансов на щепу, но и при их очистке от коры в установках барабанного типа. В работах [18, 19] и др. обращается внимание на необходимость такого подбора конструктивных и технологических параметров корообдирочных барабанов, которые позволили бы если не полностью исключить, то уменьшить возможность появления как избыточно больших сил контактного взаимодействия балансов при их соударениях друг с другом и с корпусом барабана, так и сил, недостаточных для разрушения коры и, следовательно, для очистки балансов. Связано это с тем, что избыточно большие силы контактного взаимодействия приводят к «размочаливанию» торцов балансов и к другим

повреждениям [35, 56].

Поскольку появление короткомеров в общем массиве балансов приводит к ухудшению качества технологической щепы, то с целью ресурсосбережения каждую из операций древесно-подготовительного цикла ЦБК необходимо организовать так, чтобы минимизировать или исключить их образование. Согласование каждой технологической операции с предыдущей и последующей, несомненно, приведет к экономии ресурсов в целом и к увеличению качества технологической щепы, как конечного продукта. В этой связи появляется комплекс задач, в которых предметом исследований является согласованность технологических звеньев. Так, например, вопросы согласования за счет совмещения технологических операций рассмотрены в работах [39, 52].

В работе [52] исследовано совмещение в рубительной машине операций рубки и окорки древесины после предварительной гидротермической обработки. Однако остаточное содержание коры в щепе при таком способе обработке древесины составляет 3,5 – 4,0 %, что согласно ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия» соответствует только маркам щепы ГП-1, ПВ, ПС, т. е. имеет ограниченную область применения.

В работе [39] описан успешно используемый в США, Канаде и Австралии метод производства технологической щепы с помощью сучкорезно-окорочно-дробильных установок. Опыт же применения таких установок в России, рассмотренный в работе [65], показал, что ни на одном из отечественных предприятий преимущества данной технологии не были использованы в полной мере. Объясняется это недостаточным развитием лесотранспортной инфраструктуры и особенностями лесозаготовок в российских условиях. Кроме того, необходимо понимать, что переход на новые технологии переработки круглых лесоматериалов не может быть произведен в короткие сроки, учитывая существующие на данный момент технические возможности. Именно поэтому проблема обоснования технологических решений, повышающих эффективность использования круглых лесоматериалов при переработке на щепу с использованием уже функционирующего оборудования, становится особенно актуальной.

На основании представленного выше анализа потенциальных путей рационального использования ресурсов при подготовке круглых лесоматериалов к переработке на щепу можно сделать следующие выводы.

**I.** К настоящему времени проведено большое количество исследований по совершенствованию производства технологической щепы [1, 13, 15, 21, 52, 61, 63]. Однако эти исследования требуют продолжения. И в этой связи необходимо:

- 1) исследовать причины получения частиц щепы некондиционных размеров и формы;
- 2) изучить зависимость качества щепы от технологии раскрытия длинномерных сортиментов на балансы;
- 3) разработать техническое решение для интенсификации сортировки по длине транспортируемых по рольгангу круглых лесоматериалов;

- 4) исследовать зависимость качества щепы от геометрических характеристик загрузочного устройства рубительной машины, а также от диаметра и длины измельчаемых балансов;
- 5) сформулировать рекомендации по реализации комплекса выявленных возможностей ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу.

**II.** Рассмотрев все операции древесно-подготовительного производства, можно выделить несколько потенциальных путей ресурсосбережения.

На стадии приемки древесины от лесозаготовителей:

- 1) рациональной будет ее сортировка по диаметру, длине, степени механических и биологических повреждений и др. пороков древесины, которые могут приводить к появлению некондиционных фракций в технологической щепе, а также предварительная сортировка круглых лесоматериалов с учетом расстояния между пилами, позволяющая получать балансы стандартной длины.

а. На стадии распила:

- 2) изменение расстояния между пилами для минимизации образования короткомеров с учетом длины подаваемых на распил бревен;
- 3) удаление крайней пилы на слешере для исключения образования короткомеров;
- 4) организация отдельной линии для удаления и утилизации короткомеров при сохраненной технологии распила.

а. На стадии транспортировки:

- 5) изменение конструкции роликов конвейера для более качественной отбраковки короткомеров с целью предотвращения попадания их на дальнейшую обработку.

а. На стадии очистки:

- 6) подбор таких конструктивных и технологических параметров корообдирочных барабанов, которые позволят если не полностью исключить, то уменьшить возможность появления как избыточно больших сил при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана, так и сил, недостаточных для разрушения коры и, следовательно, для очистки баланса;

- 7) исключение (ограничение) поступления короткомеров в корообдирочный барабан для уменьшения непроизводительных затрат времени, труда и других ресурсов, направленных на окорку массива балансов.

а. На стадии фракционирования щепы:

- 8) применение современных решений, позволяющих минимизировать попадание некондиционных фракций к технологической (кондиционной) щепе.

Комплексное решение этих задач позволит сократить количество древесных отходов, уменьшить затраты энергоресурсов, поскольку в современных условиях приоритетным является направление ресурсосбережения на всех стадиях производства.

### **Список литературы.**

1. Аликин Г. П. Формирование качества щепы в процессе ее эвакуации из рубительной машины // Комплексная переработка и использование древесины. Сб. науч. трудов. –



- Химки: ЦНИИМЭ, 1983. С. 39 – 45.
2. Бойков С. П. Теория процессов очистки древесины от коры. – Л.: ЛГУ, 1980. – 152 с.
  3. Булатов А. Ф. Обоснование процесса заготовки и переработки биомассы дерева на технологическую щепу с целью ресурсосбережения: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Петрозаводск, 2001. – 20 с.
  4. Булатов А. Ф., Пладов А. В., Шегельман И. Р. Региональные лесопромышленные комплексы: состояние, проблемы, перспективы / Под ред. докт. техн. наук И. Р. Шегельмана. – М.: ИПиИ, 2000. – 64 с.
  5. Вальщиков Н. М. Рубительные машины. – Л.: Машиностроение, 1970. – 328 с.
  6. Вальщиков Н. М., Добровольский П. П. Анализ конструкций и работы рубительных машин разных типов. – М.: 1963. – 69 с.
  7. Вальщиков Н. М., Лицман Э. П. Рубительные машины: монография. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 96 с.
  8. Васильев А. С., Никонова Ю. В., Раковская М. И. Математическое моделирование технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия «Естественные и технические науки». – 2008. № 1. – С. 117–119.
  9. Васильев С. Б. Измельчение биомассы дерева на щепу: Монография / Петрозаводский гос. ун-т. – Петрозаводск, 2002. – 218 с. Деп. в ВИНТИ 24.04.02, № 754-B2002.
  10. Васильев С. Б. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров рабочего органа рубильной машины большого типоразмера. Повышение эффективности процессов производства технологической щепы: Сб. науч. трудов. – Петрозаводск: РИСО КарНИИЛП, 1999. – С. 26–31.
  11. Васильев С. Б., Жуков М. В. Ресурсосбережение при производстве древесной щепы / Рациональное природопользование: ресурсо- и энергосберегающие технологии и их метрологическое обеспечение: Материалы международной научно-практической конференции 22–24 июня 2004 г. Петрозаводск. – М.: ФГУП «ВИМИ», 2004. – С. 316 – 322.
  12. Васильев С. Б., Кульбицкий А. В. Исследование работы плоских гирационных сортировок щепы // Известия СПбГЛТА. – Вып. 189. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 132–140. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.ftacademy.ru/UserFiles/izv189.pdf](http://www.ftacademy.ru/UserFiles/izv189.pdf).
  13. Васильев С. Б., Шегельман И. Р., Булатов А. Ф. Структурно-технологический анализ технологических схем производства щепы различного назначения / ПетрГУ: Петрозаводск, 1999. – 9 с. Деп. в ВИНТИ 12.11.1999. № 3335-B99.
  14. Васильев С. Б. Исследования конструктивных и технологических параметров оборудования для переработки крупной фракции щепы и кусковых отходов предприятий лесного комплекса на технологическую щепу / Петрозаводск, Петрозаводский гос. ун-т. 2001. – 42 с. Деп. в ВИНТИ 14.12.01, № 2588-B2001.
  15. Васильев С. Б. Комплексные исследования процесса производства щепы // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. – С. 13 – 15.

16. Васильев С. Б. Обоснование технологии и оборудования производства щепы при неистощительном лесопользовании: Дисс. ... доктора техн. наук: 05.21.05, 05.21.01 / Петрозаводск. 2002. – 342 с.
17. Васильев С. Б., Девятникова Л. А., Колесников Г. Н. Влияние технологии раскря балансовой древесины на фракционный состав щепы // Известия СПбГЛТА. - Вып. 195. - СПб. СПбГЛТА, 2011. – С. 125–133.
18. Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Никонова Ю. В., Раковская М. И. Влияние локальной жесткости корпуса корообдирочного барабана на изменение силы соударений и величину потерь древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия «Естественные и технические науки». – 2008. № 4. – С. 84 – 91.
19. Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Никонова Ю. В., Раковская М. И. Исследование закономерностей изменения силы соударений с целью снижения потерь при окорке древесины в барабане // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. № 185. – С. 195 – 202.
20. Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Шегельман И. Р., Андреев А. А., Кульбицкий А. В. Установка для сортировки древесной щепы. Патент РФ на полезную модель № 109025. Опубликовано: 10.10.2011.
21. Васильев С. Б., Симонова И. В. Влияние параметров дисковой рубительной машины на качество щепы // Известия высших учебных заведений. – Лесной журнал. – 2007. № 6. – С. 78 – 82.
22. Волынский В. Средства измерения параметров лесо- и пиломатериалов. // «Леспроминформ». – 2010. №7 (73). – С. 70 – 76.
23. Газизов А. М., Григорьев И. В., Кацадзе В. А., Шапиро В.Я., Мурашкин Н.В. Повышение эффективности механической окорки лесоматериалов. Монография. – СПб.: ЛТА, 2009. – 240 с.
24. Газизов А. М., Шапиро В. Я., Григорьев И. В. Влияние влажности на развитие процесса разрушения коры при роторной окорке // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2008. № 6. – С. 129 – 133.
25. Герасимов Ю. Ю. Основные факторы планирования производства древесного топлива из древесной биомассы / Ю. Ю. Герасимов, А. А. Селиверстов, Ю. В. Суханов, В. С. Сюнёв // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2011. № 8. – С. 77– 80.
26. Глебов И. Т. Резание древесины: Учебное пособие. – СПб.: Издательство Лань, 2010. – 256 с.
27. Гнатовская И. В. Обоснование создания технологического процесса производства пилопродукции и технологической щепы из низкокачественной древесины в общих технологических потоках // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2002. № 5. – С. 168 –170.
28. Гомонай М. В. Ресурсосберегающие технологии измельчения древесины на щепу в рубильных машинах с многолезцовыми и ножевыми рабочими органами: Автореф. дис.

- ... канд. техн. наук. 05.21.01 / Воронежская государственная лесотехническая академия. Воронеж, 2003.
29. ГОСТ 15815-83. Щепа технологическая. Технические условия. Введ. 24.08.83. – М.: Изд-во стандартов, 1984. 11 с.
  30. ГОСТ 2140-81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения. – Взамен ГОСТ 1240-71; Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 121 с.
  31. ГОСТ 21524-76 Лесоматериалы круглые. Средства для линейных и объемных измерений. Типы, основные параметры. Технические требования. Введ. 01.09.77. – М.: Изд-во стандартов, 1978. 6 с.
  32. ГОСТ 23246-78. Древесина измельченная. Термины и определения. Введ. 11.08.78. – М.: Изд-во стандартов, 1979. 4 с.
  33. Девятникова Л. А., Васильев С. Б., Колесников Г. Н. Влияние технологии раскря балансов на фракционный состав щепы // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. М.: Изд-во МГУЛ. – 2012. № 3. – С.120–124.
  34. Девятникова Л. А. Комплекс задач по совершенствованию технологии и оборудования древесно-подготовительного цикла для производства целлюлозы // Материалы пятой международной научно-практической Интернет-конференции «Леса России в XXI веке». – СПб.: ЛТА, 2010. – С. 151–158.
  35. Девятникова Л. А., Никонова Ю. В. О совершенствовании технологии очистки круглых лесоматериалов от коры и их переработки на щепу // Материалы четвертой международной научно-практической Интернет-конференции «Леса России в XXI веке». – СПб.: ЛТА, 2010. – С. 111–114. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ftacademy.ru/>
  36. Девятникова Л. А., Никонова Ю. В., Васильев С. Б. Техничко-экономические аспекты очистки круглых лесоматериалов от коры в установках барабанного типа // Материалы третьей международной научно-практической Интернет-конференции «Леса России в XXI веке». – СПб.: ЛТА, 2010. – С. 8 – 11. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ftacademy.ru/>
  37. Девятникова Л. А., Никонова Ю. В., Городничина М. Ю. Влияние раскря балансовой древесины на качество щепы // Материалы шестой международной научно-практической Интернет-конференции «Леса России в XXI веке». – СПб.: ЛТА, 2011. – С. 213–217.
  38. Житков А. В., Мазарский С. М. Хранение и подготовка древесного сырья в целлюлозно-бумажной промышленности. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 224 с.
  39. ЗАО «ЭКСПО-Трейд» Технологическая щепа высокого качества с минимальными затратами? Гарантируем! // «ЛесПромИнформ». – 2009. № 4 (62). – С. 74–76. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/694>
  40. Иванов К. А. Влияние качества щепы на величину и вариацию характеристик сульфатной целлюлозы: Дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / Архангельск, 2009. – 141с.

41. Иванов К. А., Севастьянова Ю. В., Миловидова Л. А., Карманова Т. Е. Сравнительный анализ качества образцов производственной щепы // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2007. № 12. – С. 5 – 9.
42. Иванов К. А. Пути повышения качества крафт-целлюлозы / К. А. Иванов, Ю. В. Севастьянова, Л. А. Миловидова, В. И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. № 10. – С. 50-53.
43. Ильенко Б. К. Обоснование конструктивных параметров, обеспечивающих снижение потерь древесины при ударе щепы о неподвижные поверхности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.21.01 / Санкт-Петербург, 1992. –16 с.
44. Каменев Б. Б., Лаутнер Э. М. Способы образования элементов в дисковой рубительной машине при осуществлении сложных видов резания древесины // Деревообрабатывающие машины, инструменты и вопросы резания: Межвуз. сб. научн. тр./ Л.: ЛТА, – 1984. – С. 19–23.
45. Качественные аспекты при заготовке и последующей переработке круглых лесоматериалов // Стёд Р., Барбашин А. В., Мелетеев П. М., Вяльккю Э., Селиверстов А. А., Карвинен С. – Йозенсуу: НИИ леса Финляндии, 2010.– 32с.
46. Козин Л. Ф. Оборудование для производства технологической щепы // Целлюлоза, бумага, картон. – 2005. № 1. – С. 68 – 69.
47. Комаров В. И. Деформация и разрушение целлюлозно-бумажных материалов (монография) // Киров: Издательство «Вятка». 2003. – 440 с.
48. Комплексная химическая переработка древесины: Учебник для вузов / И. Н. Ковернинский, В. И. Комаров, С. И. Третьяков, Н. И. Богданович, О. М. Соколов, Н. А. Кутакова, Л. И. Селянина; Под ред. проф. И. Н. Ковернинского. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2002. – 347 с.
49. Кузнецов В. А. Задачи раскрытия в целлюлозно-бумажной промышленности // СПб.: Изд-во СПбЛТА, – 2000. – 132 с.
50. Лаптев В. Н. Производство древесной массы: учебное пособие/ ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2009. – 48 с.
51. Лаутнер Э. М. Основы теории получения технологической щепы и разработка нового поколения дисковых рубительных машин. Науч. доклад на соискание уч. степени докт. техн. наук. СПб: СПбЛТА, 1996. –52 с.
52. Левин В. Л. Снижение отходов древесины при производстве технологической щепы за счет совмещения операций окорки и рубки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.03 / Ленинград, 1984. –133 с.
53. Локштанов Б. М. Выход щепы при подготовке древесного сырья для производства целлюлозы. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2010. № 190. – С. 171–179.
54. Локштанов Б. М., Житков А. В., Трефилова Т. Ф. Сухая окорка древесины в барабанах на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. (Обзор). – М.: ВНИПИЭЛеспром, 1976. – 53 с.

55. Непенин Н. Н. Технология целлюлозы. Том 1. Производство сульфитной целлюлозы. – Изд. 2-е, перераб. М., «Лесная промышленность», – 1976.
56. Никонова Ю. В. Обоснование конструктивно-технологических параметров корообдирочных барабанов с применением численного моделирования динамического взаимодействия балансов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.21.01, 05.13.18 / Петрозаводск, 2009. – 20 с.
57. ООО «ЛЕСЭКСПЕРТ». Пособие по учёту круглых лесоматериалов, 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://lesexpert.info/2012-07-15-roundwood\\_handbook-33.pdf](http://lesexpert.info/2012-07-15-roundwood_handbook-33.pdf)
58. Патент на полезную модель 117411 РФ, МПК В65G 13/11. Секция рольганга для сортировки транспортируемых лесоматериалов по длине. Колесников Г. Н., Васильев С. Б., Девятникова Л. А., Доспехова Н. А.
59. Раковская М. И., Никонова Ю. В. Численное моделирование и определение сил контактного взаимодействия длиномерных сортиментов в корообдирочном барабане // Системы управления и информационные технологии. № 1.3 (31). – Воронеж: Научная книга, 2008. – С. 397–401.
60. Рубцов Ю. В., Коннова Г. В., Рудько С. В. Технология переработки низкокачественной древесины на щепу рубительными машинами в США и России // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Т. 1. – 2011. № 8. – С. 108 –114.
61. Савостина Т. И. Обоснование технологии и системы машин для выработки щепы на лесосеке: Автореф. дис. . канд. техн. наук: 05.21.01. / Химки: ЦНИИМЭ, 1993. – 22 с.
62. Симонова И. В. Обоснование геометрических параметров формы рабочей поверхности диска и ножей рубительной машины: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / ПетрГУ, Петрозаводск, 2007. – 117 с.: 61 07-5/5276
63. Смехов С. Н., Бажанов Д. Н. Основные факторы, оказывающие влияние на кондиционный выход технологической щепы в холодное время года (на примере Братского ЛПК) // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – 2005. № 2. С. 98 –101.
64. Суровцева Л. С., Иванов Д. В., Царева М. М. Анализ параметров технологической щепы, используемой в целлюлозно-бумажной промышленности // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. –2004. № 6. – С. 48 –52.
65. Суханов В. С. О повышении эффективности работы ЦБК за счет снижения затрат на производство сырья / Журнал «ЛесПромИнформ». – 2005. – №3 (25). – С. 60-64.
66. Суханов Ю. В., Герасимов Ю. Ю., Селиверстов А. А., Соколов А. П. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошнолесосечной заготовке в сортиментах // Системы. Методы. Технологии. – 2011. № 12. – С. 101 –107.

67. Суханов Ю. В., Селиверстов А. А., Сюнёв В. С., Герасимов Ю. Ю. Системы машин для производства топливной щепы из древесной биомассы по технологии заготовки деревьями // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. № 1. – С. 7–13.
68. Тикачев В. Машины для измельчения древесины // ЛесПромИнформ. – 2010. №2(68). – С. 92 – 102. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemprint/1176>
69. Торопов А. С. Интенсификация производственных процессов поперечной распиловки пиломатериалов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Л.: ЛТА, 1993. – 31 с.
70. Чубинский А., Тамби А., Федяев А. А. она его пилит и пилит... // Журнал «ЛесПромИнформ». – 2008. №9 (58). – С. 76-78.
71. Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Гулько А. Е. Анализ методов расчета параметров и обоснование математической модели разрушения коры при групповой окорке древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2011. № 8. – С. 92 – 96.
72. Шегельман И. Р., Васильев С. Б. Технологическая щепа: классификация, приемка и испытания. Петрозаводск: ПетрГУ, 1999. – 31 с.
73. Шегельман И. Р., Баклагин В. Н. Обоснование сквозных технологий заготовки и производства щепы из биомассы энергетической древесины // Глобальный научный потенциал. 2012, № 2. – С. 82 – 84.
74. Bjurulf A. Chip Geometry. Methods to impact the geometry of market chips // Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 2006. 43 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://diss-epsilon.slu.se/archive/00001251/01/Chip\\_geometry.pdf](http://diss-epsilon.slu.se/archive/00001251/01/Chip_geometry.pdf)
75. Chip Quality Monograph / Ed. By J.V. Hatton. Montreal: TAPPI, 1979. 323 p.
76. Hartmann H., Böhm T., Jensen P. D., Temmerman M., Rabier F., Golser M. Methods for size classification of wood chips // Biomass and Bioenergy. Vol. 30, Issue 11, November 2006, Pages 944-953. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com>
77. Hellström L. M., Gradin P. A., Carlberg T. A method for Experimental Investigation of Wood Chipping Process // Nordic Pulp & Paper Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol. 23, 2008. Issue No. 3. P. 339-342. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.npprj.se/>
78. Hellström L. M., Isaksson P., Gradin P. A., Eriksson K. An Analytical and Numerical Study of some Aspects of the Wood Chipping Process // Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol. 24, 2009. Issue No. 2. P. 225-230. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.npprj.se/>
79. Hunter Harrill, Han-Sup Han. Productivity and Cost of Integrated Harvesting of Wood Chips and Sawlogs in Stand Conversion Operations // International Journal of Forestry Research. Vol. 2012, 2012, 10 pages. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/893079/>
80. Lisbeth M. Hellström, Per A. Gradin, Torbjörn Carlberg. A method for experimental investigation of the wood chipping process// Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol. 23, 3/2008. Pages 339-342.



81. Nati C., Spinelli R., Fabbri P. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use // *Biomass and Bioenergy*. Vol. 34, Issue 5, May 2010. Pages 583-587  
<http://www.sciencedirect.com>
82. Timber Bulletin. Forest Products Statistics // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://timber.unece.org>
83. Twaddle A. A., Watson W. F. Shortwood vs. longwood chipping what impact on chip distribution // *Tappi Journal*. June, 1992. Pages 107-111.
84. Uhmeier A. Some fundamental aspects of wood chipping // *Tappi Journal*. № 10, 1995, Vol. 78. Pages 79-86.

### References

1. Alikin G. P. Formirovanie kachestva shchepy v processe ee ehvakuacii iz rubitel'noj mashiny // *Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovanie drevesiny*. Sb. nauch. trudov. – Himki: CNIIMEH, 1983. S. 39 - 45.
2. Bojkov S. P. Teoriya processov ochistki drevesiny ot kory. - L.: LGU, 1980. - 152 s.
3. Bulatov A. F. Obosnovanie processa zagotovki i pererabotki biomassy dereva na tekhnologicheskuyu shchepu s cel'yu resursosberezheniya: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Petrozavodsk, 2001. - 20 s.
4. Bulatov A. F., Pladov A. V., SHegel'man I. R. Regional'nye lesopromyshlennye komplekсы: sostoyanie, problemy, perspektivy / Pod red. dokt. tekhn. nauk I. R. SHegel'mana. - M.: IPII, 2000. - 64 s.
5. Val'shchikov N. M. Rubitel'nye mashiny. – L.: Mashinostroenie, 1970. - 328 s.
6. Val'shchikov N. M., Dobrovol'skij P. P. Analiz konstrukcij i raboty rubitel'nyh mashin raznyh tipov. – M.: 1963. - 69 s.
7. Val'shchikov N. M., Licman EH. P. Rubitel'nye mashiny: monografiya. / M.: Lesnaya promyshlennost', 1980. - 96 s.
8. Vasil'ev A. S., Nikonova YU. V., Rakovskaya M. I. Matematicheskoe modelirovanie tekhnologicheskogo processa ochistki drevesiny v koroobdirochnom barabane // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Estestvennye i tekhnicheskie nauki»*. - 2008. № 1. - S. 117 –119.
9. Vasil'ev S. B. Izmel'chenie biomassy dereva na shchepu: Monografiya / Petrozavodskij gos. un-t. - Petrozavodsk, 2002. - 218 s. Dep. v VINITI 24.04.02, № 754-V2002.
10. Vasil'ev S. B. Teoreticheskoe i ehksperimental'noe obosnovanie parametrov rabocheho organa rubil'noj mashiny bol'shogo tiporazmera. Povyshenie ehffektivnosti processov proizvodstva tekhnologicheskoy shchepy: Sb. nauch. trudov. / Petrozavodsk: RISO KarNIILP, 1999. - S. 26–31.
11. Vasil'ev S. B., ZHukov M. V. Resursosberezhenie pri proizvodstve drevesnoj shchepy / *Racional'noe prirodopol'zovanie: resurso- i ehnergoberegayushchie tekhnologii i ih*

- metrologicheskoe obespechenie: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 22–24 iyunya 2004 g. Petrozavodsk. – M.: FGUP «VIMI», 2004. – S. 316 – 322.
12. Vasil'ev S. B., Kul'bickij A. V. Issledovanie raboty ploskih giracionnyh sortirovok shchepy // Izvestiya SPbGLTA. - Vyp. 189. - SPb.: SPbGLTA, 2009. - S. 132–140. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [www.ftacademy.ru/UserFiles/izv189.pdf](http://www.ftacademy.ru/UserFiles/izv189.pdf).
  13. Vasil'ev S. B., SHegel'man I. R., Bulatov A. F. Strukturno-tehnologicheskij analiz tehnologicheskikh skhem proizvodstva shchepy razlichnogo naznacheniya / PetrGU: Petrozavodsk, 1999. - 9 s. Dep. v VINITI 12.11.1999. № 3335-V99.
  14. Vasil'ev S. B. Issledovaniya konstruktivnyh i tehnologicheskikh parametrov oborudovaniya dlya pererabotki krupnoj frakcii shchepy i kuskovyh othodov predpriyatij lesnogo kompleksa na tehnologicheskuyu shchepu / Petrozavodsk, Petrozavodskij gos. un-t. 2001. – 42 s. Dep. v VINITI 14.12.01, № 2588-B2001.
  15. Vasil'ev S. B. Kompleksnye issledovaniya processa proizvodstva shchepy // Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2003. –S. 13 – 15.
  16. Vasil'ev S. B. Obosnovanie tehnologii i oborudovaniya proizvodstva shchepy pri neistoshchitel'nom lesopol'zovanii: Diss. ... doktora tekhn. nauk: 05.21.05, 05.21.01 / Petrozavodsk. 2002. – 342 s.
  17. Vasil'ev S. B., Devyatnikova L. A., Kolesnikov G. N. Vliyanie tehnologii raskroya balansovoj drevesiny na frakcionnyj sostav shchepy // Izvestiya SPbGLTA. - Vyp. 195. - SPb. SPbGLTA, 2011. – S. 125–133.
  18. Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N., Nikonova YU. V., Rakovskaya M. I. Vliyanie lokal'noj zhestkosti korpusa koroobdirochnogo barabana na izmenenie sily soudarenij i velichinu poter' drevesiny // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Estestvennye i tekhnicheskie nauki». – 2008. № 4. – S. 84 – 91.
  19. Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N., Nikonova YU. V., Rakovskaya M. I. Issledovanie zakonomernostej izmeneniya sily soudarenij s cel'yu snizheniya poter' pri okorke drevesiny v barabane // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. – 2008. № 185. – S. 195 – 202.
  20. Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N., SHegel'man I. R., Andreev A. A., Kul'bickij A. V. Ustanovka dlya sortirovki drevesnoj shchepy. Patent RF na poleznuyu model' № 109025. Opublikovano: 10.10.2011.
  21. Vasil'ev S. B., Simonova I. V. Vliyanie parametrov diskovoj rubitel'noj mashiny na kachestvo shchepy // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. – Lesnoj zhurnal. – 2007. № 6. – S. 78 – 82.
  22. Volynskij V. Sredstva izmereniya parametrov leso- i pilomaterialov. // «Lesprominform». – 2010. №7 (73). – S. 70 – 76.
  23. Gazizov A. M., Grigor'ev I. V., Kacadze V. A., SHapiro V.YA., Murashkin N.V. Povyshenie ehffektivnosti mekhanicheskoy okorki lesomaterialov. Monografiya. – SPb.: LTA, 2009. – 240 s.

24. Gazizov A. M., SHapiro V. YA., Grigor'ev I. V. Vliyanie vlazhnosti na razvitie processa razrusheniya kory pri rotornoj okorke // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. – 2008. № 6. – S. 129 – 133.
25. Gerasimov YU. YU. Osnovnye faktory planirovaniya proizvodstva drevesnogo topliva iz drevesnoj biomassy / YU. YU. Gerasimov, A. A. Seliverstov, YU. V. Suhanov, V. S. Syunyov // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2011. № 8. – S. 77– 80.
26. Glebov I. T. Rezanie drevesiny: Uchebnoe posobie. – SPb.: Izdatel'stvo Lan', 2010. – 256 s.
27. Gnatovskaya I. V. Obosnovanie sozdaniya tekhnologicheskogo processa proizvodstva piloprodukcii i tekhnologicheskoy shchepy iz nizkokachestvennoj drevesiny v obshchih tekhnologicheskikh potokah // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoj vestnik. – 2002. № 5. – S. 168 - 170.
28. Gomonaj M. V. Resursosberegayushchie tekhnologii izmel'cheniya drevesiny na shchepu v rubil'nyh mashinah s mnogorezцовymi i nozhevymi rabochimi organami: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. 05.21.01 / Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya. Voronezh, 2003.
29. GOST 15815-83. SHCHepa tekhnologicheskaya. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 24.08.83. – M.: Izd-vo standartov, 1984. 11 s.
30. GOST 2140-81. Vidimye poroki drevesiny. Klassifikaciya, terminy i opredeleniya, sposoby izmereniya. – Vzamen GOST 1240-71; Vved. 01.01.82. – M.: Izd-vo standartov, 1997. – 121 s.
31. GOST 21524-76 Lesomaterialy kruglye. Sredstva dlya linejnyh i ob"emnyh izmerenij. Tipy, osnovnye parametry. Tekhnicheskie trebovaniya. Vved. 01.09.77. – M.: Izd-vo standartov, 1978. 6 s.
32. GOST 23246-78. Drevesina izmel'chennaya. Terminy i opredeleniya. Vved. 11.08.78. – M.: Izd-vo standartov, 1979. 4 s.
33. Devyatnikova L. A., Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N. Vliyanie tekhnologii raskroya balansov na frakcionnyj sostav shchepy // Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik. M.: Izd-vo MGUL. – 2012. № 3. – S.120–124.
34. Devyatnikova L. A. Kompleks zadach po sovershenstvovaniyu tekhnologii i oborudovaniya drevesno-podgotovitel'nogo cikla dlya proizvodstva cellyulozy // Materialy pyatoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy Internet-konferencii «Lesa Rossii v XXI veke». – SPb.: LTA, 2010. – S. 151–158.
35. Devyatnikova L. A., Nikonova YU. V. O sovershenstvovanii tekhnologii ochistki kruglyh lesomaterialov ot kory i ih pererabotki na shchepu // Materialy chetvertoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy Internet-konferencii «Lesa Rossii v XXI veke». – SPb.: LTA, 2010. – S. 111–114. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://ftacademy.ru/>
36. Devyatnikova L. A., Nikonova YU. V., Vasil'ev S. B. Tekhniko-ehkonomicheskie aspekty ochistki kruglyh lesomaterialov ot kory v ustanovkah barabannogo tipa // Materialy tret'ej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy Internet-konferencii «Lesa Rossii v XXI veke». – SPb.: LTA, 2010. – S. 8 – 11. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://ftacademy.ru/>

37. Devyatnikova L. A., Nikonova YU. V., Gorodnichina M. YU. Vliyanie raskroya balansovoy drevesiny na kachestvo shchepy // *Materialy shestoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj Internet-konferencii «Les Rossii v XXI veke»*. – SPb.: LTA, 2011. – S. 213–217.
38. ZHitkov A. V., Mazarskij S. M. Hranenie i podgotovka drevesnogo syr'ya v cellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti. – M.: Lesnaya promyshlennost', 1980. – 224 s.
39. ZAO «EHKSPO-Trejd» Tekhnologicheskaya shchepa vysokogo kachestva s minimal'nymi zatratami? Garantiruem! // «LesPromInform». – 2009. № 4 (62). – S. 74–76. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/694>
40. Ivanov K. A. Vliyanie kachestva shchepy na velichinu i variaciyu harakteristik sul'fatnoj cellyulozy: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.03 / Arhangel'sk, 2009. – 141s.
41. Ivanov K. A., Sevast'yanova YU. V., Milovidova L. A., Karmanova T. E. Sravnitel'nyj analiz kachestva obrazcov proizvodstvennoj shchepy // *Cellyuloza. Bumaga. Karton*. – 2007. № 12. – S. 5 - 9.
42. Ivanov K. A. Puti povysheniya kachestva kraft-cellyulozy / K. A. Ivanov, YU. V. Sevast'yanova, L. A. Milovidova, V. I. Komarov // *Cellyuloza. Bumaga. Karton*. – 2008. № 10. – S. 50-53.
43. Il'enko B. K. Obosnovanie konstruktivnyh parametrov, obespechivayushchih snizhenie poter' drevesiny pri udare shchepy o nepodvizhnye poverhnosti: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk 05.21.01 / Sankt-Peterburg, 1992. - 16 s.
44. Kamenev B. B., Lautner EH. M. Sposoby obrazovaniya ehlementov v diskovoj rubitel'noj mashine pri osushchestvlenii slozhnyh vidov rezaniya drevesiny // *Derevoobrabatyvayushchie mashiny, instrumenty i voprosy rezaniya: Mezhvuz. sb. nauchn. tr./ L.: LTA*, – 1984. – S. 19–23.
45. Kachestvennye aspekty pri zagotovke i posleduyushchej pererabotke kruglyh lesomaterialov // Styod R., Barbashin A. V., Meleteev P. M., Vyal'kkyu EH., Seliverstov A. A., Karvinen S. – Joehnsuu: NII lesa Finlyandii, 2010.– 32s.
46. Kozin L. F. Oborudovanie dlya proizvodstva tekhnologicheskoy shchepy // *Cellyuloza, bumaga, karton*. – 2005. № 1. – S. 68 – 69.
47. Komarov V. I. Deformaciya i razrushenie cellyulozno-bumazhnyh materialov (monografiya) // Kirov: Izdatel'stvo «Vyatka». 2003. – 440 s.
48. Kompleksnaya himicheskaya pererabotka drevesiny: Uchebnik dlya vuzov / I. N. Koverninskij, V. I. Komarov, S. I. Tret'yakov, N. I. Bogdanovich, O. M. Sokolov, N. A. Kutakova, L. I. Selyanina; Pod red. prof. I. N. Koverninskogo. – Arhangel'sk: Izd-vo Arhang. gos. tekhn. un-ta, 2002. – 347 s.
49. Kuznecov V. A. Zadachi raskroya v cellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti // SPb.: Izd-vo SPbLTA, – 2000. – 132 s.
50. Laptev V. N. Proizvodstvo drevesnoj massy: uchebnoe posobie/ GOUVPO SPbGTURP. – SPb., 2009. – 48 s.

51. Lautner EH. M. Osnovy teorii polucheniya tekhnologicheskoy shchepy i razrabotka novogo pokoleniya diskovykh rubitel'nyh mashin. Nauch. doklad na soiskanie uch. stepeni dokt. tekhn. nauk. SPb: SPbLTA, 1996. –52 s.
52. Levin V. L. Snizhenie othodov drevesiny pri proizvodstve tekhnologicheskoy shchepy za schet sovmeshcheniya operacij okorki i rubki: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.06.03 / Leningrad, 1984. –133 s.
53. Lokshtanov B. M. Vyhod shchepy pri podgotovke drevesnogo syr'ya dlya proizvodstva cellyulozy. // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. – 2010. № 190. – S. 171–179.
54. Lokshtanov B. M., ZHitkov A. V., Trefilova T. F. Suhaya okorka drevesiny v barabanah na predpriyatiyah cellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti. (Obzor). – M.: VNIPIEHIlesprom, 1976. – 53 s.
55. Nepenin N. N. Tekhnologiya cellyulozy. Tom 1. Proizvodstvo sul'fitnoj cellyulozy. – Izd. 2-e, pererab. M., «Lesnaya promyshlennost'», – 1976.
56. Nikonova YU. V. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov koroobdirochnyh barabanov s primeneniem chislennogo modelirovaniya dinamicheskogo vzaimodejstviya balansov: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. 05.21.01, 05.13.18 / Petrozavodsk, 2009. – 20 s.
57. ООО «LESEHKSPERT». Posobie po uchyotu kruglyh lesomaterialov, 2012. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://lesexpert.info/2012-07-15-roundwood\\_handbook-33.pdf](http://lesexpert.info/2012-07-15-roundwood_handbook-33.pdf)
58. Patent na poleznuyu model' 117411 RF, MPK B65G 13/11. Sekciya rol'ganga dlya sortirovki transportiruemykh lesomaterialov po dlina. Kolesnikov G. N., Vasil'ev S. B., Devyatnikova L. A., Dospekhova N. A.
59. Rakovskaya M. I., Nikonova YU. V. CHislennoe modelirovanie i opredelenie sil kontaktnogo vzaimodejstviya dlinnomernyh sortimentov v koroobdirochnom barabane // Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii. № 1.3 (31). – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008. – S. 397–401.
60. Rubcov YU. V., Konnova G. V., Rud'ko S. V. Tekhnologiya pererabotki nizkokachestvennoj drevesiny na shchepu rubitel'nymi mashinami v SSHA i Rossii // Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. T. 1. – 2011. № 8. – S. 108 –114.
61. Savostina T. I. Obosnovanie tekhnologii i sistemy mashin dlya vyrabotki shchepy na leseoseke: Avtoref. dis. . kand. tekhn. nauk: 05.21.01. / Himki: CNIIMEH, 1993. - 22 s.
62. Simonova I. V. Obosnovanie geometricheskikh parametrov formy rabochej poverhnosti diska i nozhej rubitel'noj mashiny: Diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.01 / PetrGU, Petrozavodsk, 2007. – 117 c.: 61 07-5/5276
63. Smekhov S. N., Bazhanov D. N. Osnovnye faktory, okazyvayushchie vliyanie na kondicionnyj vyhod tekhnologicheskoy shchepy v holodnoe vremya goda (na primere Bratskogo LPK) // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri. – 2005. № 2. S. 98 -101.

64. Surovceva L. S., Ivanov D. V., Careva M. M. Analiz parametrov tekhnologicheskoy shchepy, ispol'zuemoj v cellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. –2004. № 6. – S. 48 -52.
65. Suhanov V. S. O povyshenii ehffektivnosti raboty CBK za schet snizheniya zatrat na proizvodstvo syr'ya / ZHurnal «LesPromInform». – 2005. – №3 (25). – S. 60-64.
66. Suhanov YU. V., Gerasimov YU. YU., Seliverstov A. A., Sokolov A. P. Tekhnologicheskie cepochki i sistemy mashin dlya sbora i pererabotki drevesnoj biomassy v toplivnuyu shchepu pri sploshnolesosechnoj zagotovke v sortimentah // Sistemy. Metody. Tekhnologii. – 2011. № 12. – S. 101 -107.
67. Suhanov YU. V., Seliverstov A. A., Syunyov V. S., Gerasimov YU. YU. Sistemy mashin dlya proizvodstva toplivnoj shchepy iz drevesnoj biomassy po tekhnologii zagotovki derev'yami // Traktory i sel'hozmashiny. – 2012. № 1. – S. 7–13.
68. Tikachev V. Mashiny dlya izmel'cheniya drevesiny // LesPromInform. – 2010. №2(68). – S. 92 – 102. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemprint/1176>
69. Toropov A. S. Intensifikaciya proizvodstvennyh processov poperechnoj raspilovki pilomaterialov: Avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. L.: LTA, 1993. – 31 s.
70. CHubinskij A., Tambi A., Fedyaev A. A. ona ego pilit i pilit... // ZHurnal «LesPromInform». – 2008. №9 (58). – S. 76-78.
71. SHapiro V. YA., Grigor'ev I. V., Gul'ko A. E. Analiz metodov rascheta parametrov i obosnovanie matematicheskoy modeli razrusheniya kory pri gruppovoj okorke drevesiny // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2011. № 8. – S. 92 – 96.
72. SHegel'man I. R., Vasil'ev S. B. Tekhnologicheskaya shchepa: klassifikaciya, priemka i ispytaniya. Petrozavodsk: PetrGU, 1999. – 31 s.
73. SHegel'man I. R., Baklagin V. N. Obosnovanie skvoznyh tekhnologij zagotovki i proizvodstva shchepy iz biomassy ehnergeticheskoy drevesiny // Global'nyj nauchnyj potencial. 2012, № 2. – S. 82-84.
74. Bjurulf A. Chip Geometry. Methods to impact the geometry of market chips // Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 2006. 43 p. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://diss-epsilon.slu.se/archive/00001251/01/Chip\\_geometry.pdf](http://diss-epsilon.slu.se/archive/00001251/01/Chip_geometry.pdf)
75. Chip Quality Monograph / Ed. By J.V. Hatton. Montreal: TAPPI, 1979. 323 p.
76. Hartmann H., Böhm T., Jensen P. D., Temmerman M., Rabier F., Golser M. Methods for size classification of wood chips // Biomass and Bioenergy. Vol. 30, Issue 11, November 2006, Pages 944-953. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.sciencedirect.com>
77. Hellström L. M., Gradin P. A., Carlberg T. A method for Experimental Investigation of Wood Chipping Process // Nordic Pulp & Paper Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol. 23, 2008. Issue No. 3. P. 339-342. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.npprj.se/>
78. Hellström L. M., Isaksson P., Gradin P. A., Eriksson K. An Analytical and Numerical Study of some Aspects of the Wood Chipping Process // Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol.

- 24, 2009. Issue No. 2. P. 225-230. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.npprj.se/>
79. Hunter Harrill, Han-Sup Han. Productivity and Cost of Integrated Harvesting of Wood Chips and Sawlogs in Stand Conversion Operations // International Journal of Forestry Research. Vol. 2012, 2012, 10 pages. [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/893079/>
80. Lisbeth M. Hellström, Per A. Gradin, Torbjörn Carlberg. A method for experimental investigation of the wood chipping process // Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol. 23, 3/2008. Pages 339-342.
81. Nati C., Spinelli R., Fabbri P. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use // Biomass and Bioenergy. Vol. 34, Issue 5, May 2010. Pages 583-587 <http://www.sciencedirect.com>
82. Timber Bulletin. Forest Products Statistics // [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://timber.unece.org>
83. Twaddle A. A., Watson W. F. Shortwood vs. longwood chipping what impact on chip distribution // Tappi Journal. June, 1992. Pages 107-111.
84. Uhmeier A. Some fundamental aspects of wood chipping // Tappi Journal. № 10, 1995, Vol. 78. Pages 79-86.