

УДК 676.05

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ

Андреев Александр Александрович
аспирант

Доспехова Наталья Анатольевна
ст. преподаватель

Копарев Владимир Сергеевич
аспирант
*Петрозаводский государственный университет,
Петрозаводск, Россия*

В статье рассматриваются вопросы, связанные с окоркой балансов, их измельчением в рубительных машинах и сортированием полученной древесной щепы по крупности; приводятся конструктивные и технологические факторы, влияющие на качество продукции; определяются задачи дальнейшего исследования операций производства щепы на целлюлозно-бумажных комбинатах. Дан обзор и сравнительный анализ наиболее распространенного на российских ЦБК оборудования для получения щепы

Ключевые слова: ДРЕВЕСНАЯ ЩЕПА, ОКОРКА БАРАБАННАЯ, РУБИТЕЛЬНАЯ МАШИНА, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ, ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ, СОРТИРОВКА ЩЕПЫ ГИРАЦИОННАЯ

UDC 676.05

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS OF WOODEN CHIPS MANUFACTURING

Andreev Alexandr Alexandrovich
postgraduate student

Dospekhova Natalia Anatolievna
senior lecturer

Koparev Vladimir Sergeevich
postgraduate student
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

The article deals with the issues connected with pulpwood barking and chipping in chippers and wood chip screening according to its size. The authors consider structural and technological factors influencing the quality of the product and determine the tasks for future research of chip production operations at pulp and paper mills. The review and the comparative analysis of the most common equipment used for chip production at pulp and paper mills in Russia are submitted

Keywords: WOOD CHIP, DRUM BARKING, CHIPPING, CHIPPER, CHIP FRACTIONATION, GYRATORY CHIP SCREENING

Постановка проблемы

Древесная щепа как продукт переработки круглых лесоматериалов в больших количествах производится и потребляется на целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК). Так, только три ЦБК республики Карелия, в городах Кондопога, Питкяранта и Сегежа, могут ежегодно перерабатывать на древесные частицы регламентированных размеров (щепу) примерно три миллиона кубометров круглых лесоматериалов. В настоящее время имеет место тенденция к росту объемов производства и потребления измельченной древесины не только в качестве сырья для получения целлюлозы, но и в качестве биотоплива [10].

В России технологический процесс производства щепы на ЦБК включает три основные операции: окорку балансов, измельчение в

рубительной машине и сортирование полученных древесных частиц по крупности. Первая операция мало влияет на фракционный состав частиц, получаемых при измельчении древесного сырья. Её задачей является удаление коры из участия в последующих технологических операциях. Наиболее сложной операцией при производстве щепы является измельчение окорённых балансов в рубительной машине. Неконтролируемость этого процесса, обусловленная конструкцией оборудования и вынужденностью использования балансов различных диаметров и длин, приводит к образованию древесных частиц, существенно различающихся размерами и формой. Только часть этих частиц отвечает требованиям, предъявляемым стандартом [11]. Вся дальнейшая переработка щепы построена таким образом, что будет технологически и экономически эффективна только в случае получения однородной по форме и размерам частиц щепы. Таким образом, необходимым звеном в технологии подготовки щепы к дальнейшему использованию является её фракционирование (сортировка) по крупности частиц. В настоящее время эта операция осуществляется на целлюлозно-бумажных комбинатах методом рассева на специальных установках (сортировках).

Большие объемы производства и потребления щепы, новые требования к качеству продукции, энергосбережению и рациональному природопользованию определяют актуальность исследований комплексной проблемы совершенствования технологии и модернизации оборудования не только для измельчения древесины, но также для очистки балансов от коры и для фракционирования щепы. Данная проблема включает в себя ряд задач, предполагающих для своего решения применение экспериментальных методов и методов математического моделирования. Решение этих задач необходимо в целях

совершенствования технологий древесно-подготовительного цикла ЦБК с учетом современных требований ресурсосбережения.

В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с требованиями к качеству щепы в зависимости от технологий её получения и дальнейшей переработки. Приведен также сравнительный анализ наиболее распространённого на российских ЦБК оборудования для получения щепы.

Щепа как предмет труда

Щепа представляет собой сыпучий материал, частицы которого получены измельчением древесины до определенных размеров и формы. Направления использования щепы определяются в зависимости от её гранулометрического состава и от вида используемого древесного сырья [11].

По гранулометрическому составу различают щепу кондиционную (технологическую), крупной и мелкой фракций. По породному составу различают щепу хвойных и лиственных пород, а также смешанную. В свою очередь технологическая щепа, предназначенная для производства целлюлозы, разделяется на следующие группы (марки): Ц-1, Ц-2, и Ц-3. Щепа этих марок предназначена для производства сульфатной, сульфитной и бисульфитной целлюлозы, различных видов полуцеллюлозы и древесной массы, направляемых на изготовление различных видов бумаги и картона.

Направления использования технологической щепы в производстве приведены в таблице 1. Длина частиц щепы марок, указанных в таблице, должна быть 12–15 мм, толщина – не более 5 мм. Требования к щепе по содержанию в ней коры, гнили и минеральных включений представлены в таблице 2 [11].

Таблица 1. Назначение технологической щепы

Марка	Назначение
Ц-1	Сульфатная целлюлоза и древесная масса для бумаги с регламентируемой сортностью
Ц-2	Сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаги и картона с нерегламентируемой сортностью, сульфатная и бисульфатная целлюлоза для бумаги и картона с регламентируемой сортностью
Ц-3	Сульфатная целлюлоза и различные виды полуцеллюлозы для бумаги и картона с нерегламентируемой сортностью

Щепа для целлюлозного производства должна быть без мятых кромок, угол среза равен 30–60°, количество щепы, не соответствующей этим требованиям, не должно превышать 30 % от объема партии.

Таблица 2. Доля включений в щепе

Марка щепы	Массовая доля коры, %, не более	Массовая доля гнили, %, не более	Массовая доля минеральных примесей, %, не более
Ц-1	1,0	1,0	Не допускаются
Ц-2	1,5	3,0	0,3
Ц-3	3,0	7,0	0,3

Для достижения однородности частиц щепы по размерам их сортируют, удаляя чрезмерно крупные и мелкие частицы. Количественное соотношение частиц определенных размеров в общей массе технологической щепы определяет ее фракционный состав. Частицы, близкие по своим геометрическим размерам, образуют фракцию щепы. Содержание частиц по фракциям регламентируется указанным выше стандартом [11].

Технология переработки древесины на щепу

Производство древесной щепы начинается с подготовки сырья для последующей его переработки на рубительной машине. К основным подготовительным операциям относят поперечную распиловку долготья,

раскалывание, окорку, удаление гнили и гидротермическую обработку древесины. Подготовительные операции составляют до 75 % всех трудозатрат в производстве щепы. Раскряжевка сырья перед цехом щепы требуется не всегда. Для раскряжевки долготья используют круглопильные установки. При больших объемах переработки долготья целесообразно использовать высокопроизводительные слешеры или триммеры.

Оборудование для окорки древесного сырья в производстве технологической щепы должно удовлетворять следующим требованиям: осуществлять чистую окорку лесоматериалов с наименьшими потерями древесины; окорять сырье различного гидротермического состояния – сухое, влажное, мерзлое; обрабатывать лесоматериалы различной формы и размеров с кривизной, остатками сучьев и закомелистостью. В производстве технологической щепы на ЦБК наибольшее распространение получила групповая окорка лесоматериалов в корообдирочных барабанах. На качество окорки и количество потерь древесины, образующихся в ходе этого процесса, влияет большое количество технических и технологических параметров [1], [6], [9]. После окорки балансы по конвейеру подаются для измельчения в рубительную машину.

В настоящее время для измельчения древесины в технологическую щепу применяются в основном дисковые рубительные машины. Если для получения щепы используется нестандартное сырьё, то применяют барабанные рубительные машины [2], [10].

В барабанных рубительных машинах режущие ножи размещены на поверхности вращающегося барабана. При рубке эти ножи совершают круговые движения, врезаясь в древесину под разными углами наклона, зависящими от толщины перерабатываемой древесины. Вследствие этого полученная щепа обычно имеет неодинаковое направление среза и существенно неоднородна по фракционному составу.

В дисковых рубительных машинах режущие ножи расположены на вращающемся в вертикальной плоскости диске под постоянным углом наклона, как к поверхности диска, так и к направлению подачи. Поэтому резание древесины производится под одинаковым углом к плоскости диска, а также при постоянных соотношениях режимов резания и затягивания древесины к ножам независимо от ее толщины. Вследствие этого щепы, полученная на таких машинах, имеет практически одинаковое направление среза и по сравнению со щепой, полученной с применением барабанных рубительных машин, имеет более однородный фракционный состав.

Известен ряд модификаций рубительных машин, различающихся по способам подачи древесины, по форме поверхности диска, по режимам резания, а также по другим параметрам [2], [10]. Существуют дисковые машины с прерывистым и непрерывным процессом резания. Машины с прерывистым режимом резания (рисунок 1а) имеют относительно небольшое число ножей (3 – 4) и работают при чередовании резания с остановками в подаче древесины. При таком режиме неизбежны удары в момент внедрения ножа в древесину, что ухудшает фракционный состав щепы и приводит к смятию поверхности среза [2], [7], [14], [15]. В машинах с непрерывным режимом резания ножи постоянно находятся в контакте с древесиной (рисунок 1б), что создает более стабильные условия резания и обуславливает получение технологической щепы лучшего качества. Непрерывное резание древесины обеспечивается относительно большим числом (10 – 16) ножей на диске. Вид резания обуславливается диаметром бревен. Для толстых бревен непрерывное резание может быть обеспечено и при числе ножей, равном 4 – 6 [2], [8], [10].

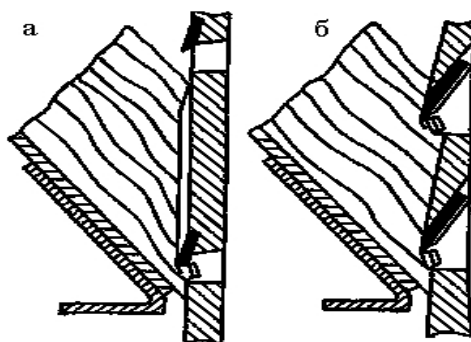


Рисунок 1. Схемы прерывистой и непрерывной рубки баланса на машинах с плоским (а) и геликоидальным (б) дисками

По форме рабочей поверхности диска многоножевые машины делятся на машины с плоской (рисунок 1а) и геликоидальной (скошенной, рисунок 1б) поверхностями. Наиболее благоприятные условия резания древесины имеют место в машинах с геликоидальной поверхностью диска. На этих машинах получается щепка повышенного качества, иногда употребляемая без дальнейшего сортирования.

По способу подвода баланса (бревна) к ножевому диску различают рубительные машины с наклонным и с горизонтальным питающим патроном. Патрон имеет угол наклона к горизонту $45^\circ \dots 52^\circ$, а также разворот от продольной оси вала машины на угол $10^\circ \dots 30^\circ$. В этих машинах резание баланса производится под углом к оси бревна. Подобного типа машины применяют, как правило, для рубки бревен длиной до 3 м. Для рубки бревен большей длины применяются машины с горизонтальной подачей древесины (рисунок 2). Длинные бревна конвейером подают к ножевому диску под углом $45 \dots 38^\circ$. Эти машины не требуют массивных фундаментов и большой высоты производственного помещения.

Рубительные машины могут быть с верхним или нижним выбросом щепы. При верхнем выбросе щепу с помощью лопаток направляют по трубопроводу (щепопроводу) в циклон или бункер. Отсюда щепка поступает на сортирование и далее на варку для получения целлюлозы.

При нижнем выбросе (рисунок 2) щепа попадает на расположенный под машиной транспортер или бункер и направляется на дальнейшую переработку.

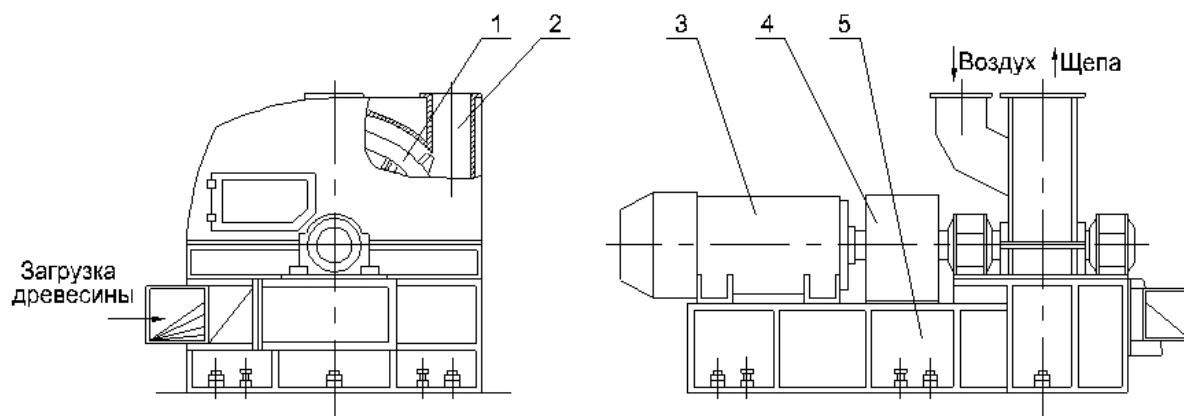


Рисунок 2. Рубительные машины с горизонтальной подачей сырья:
1 – ротор; 2 – кожух; 3 – приводной электродвигатель; 4 – муфта с тормозом; 5 – рама с загрузочным патроном

На рисунке 3 представлены рубительные машины дискового типа, ножевые, с плоской поверхностью межножевых секторов, получившие наибольшее распространение на российских ЦБК. Направление подачи сырья – наклонное. Выброс щепы – вверх, в циклон. Примерный фракционный состав щепы, получаемой в этих машинах, приведен в таблице 3.

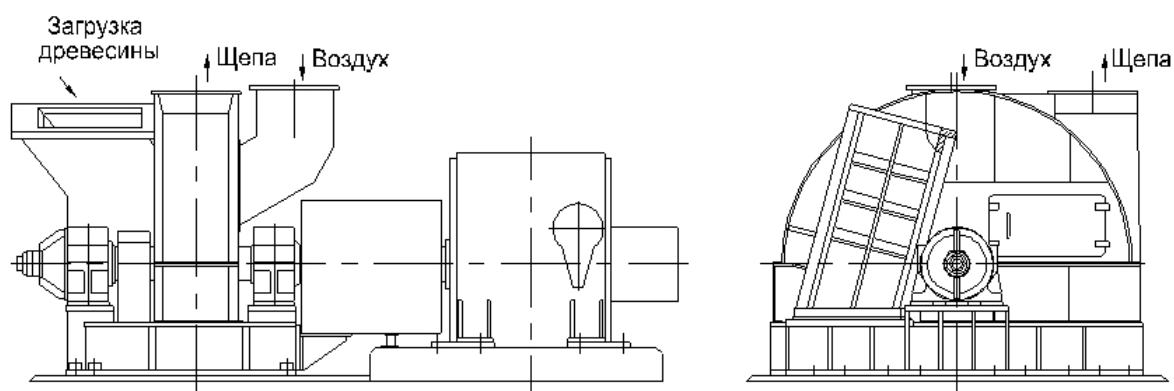


Рисунок 3. Рубительные машины МР5-150, МР7-300А, МР7-300Б

Таблица 3. Фракционный состав щепы, получаемой на отечественных дисковых рубительных машинах

Характеристика щепы	Марка рубительной машины		
	MP5-150	MP7-300A	MP7-300B
Длина (расчетная), мм	20	20	20
Пределы изменения длины щепы, мм	от 18 до 25		
Массовая доля крупной фракции, %	4 – 6	6 – 8	5 – 7
Массовая доля отсева, %	2 – 3	1,2 – 2,5	2 – 3

Измельченная рубительной машиной древесина подается по конвейеру для дальнейшего фракционирования (сортирования древесных частиц по крупности). Задачей фракционирования является исключение (отсев) из полученной щепы нежелательных фракций: очень крупной (+30), мелочи (-10 +5) и опилок (-5 +0) [16]. Необходимость фракционирования щепы обусловлена высокой изменчивостью её качества, что зависит от целого ряда факторов: качества измельчаемой древесины, ее породы, температуры, выступа ножей рубительной машины, зазора между ножами и контрножом, способа транспортировки щепы от рубительной машины к установке для фракционирования и т.д. [2], [10], [12], [13], [17], [18], [19].

Технология фракционирования щепы

Оборудование для фракционирования древесной щепы по крупности частиц в настоящее время известно под названием «сортировки щепы». 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 так далее. Ниже рассматриваются вопросы,

связанные с процессом фракционирования щепы по критерию крупности частиц методом отсева.

Как уже говорилось выше, при производстве технологической щепы ее делят на следующие фракции: крупная – совокупность древесных частиц, оставшихся на сите с наибольшим проходным сечением отверстий; кондиционная – совокупность древесных частиц соответствующих требованиям технических условий; отсев – совокупность древесных частиц, которые при сортировании проходят все сита и собираются на поддоне.

Для механического сортирования щепы на российских ЦБК применяются, как правило, установки с плоскими ситами. При этом может быть использована следующая технологическая схема процесса. Щеповоздушная смесь от рубительной машины по пневмопроводу подаётся в циклон, где разделяется на щепу и воздух. Из циклона щепка падает на приёмную часть верхнего сита сортировки. Обычно сортировка оснащается двумя ярусами сит. Несортированная щепка благодаря наклону и вибрациям сит, перемещается по их поверхностям, разделяясь на фракции. Кондиционная фракция ленточным конвейером доставляется для дальнейшей переработки в варочный цех ЦБК. Крупная щепка подается на доизмельчение (в дезинтегратор), после чего возвращается на сортировку. Отсев и мелкая фракция из поддона ситового короба направляются на утилизацию.

Массовая доля отсева 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. Наличие отсева в щепе при её дальнейшем использовании затрудняет циркуляцию технологических растворов в варочных установках и увеличивает его расход. Кроме того, в мелкой

фракции содержится повышенное количество частиц измельченных обломков сучков, коры, других органических и минеральных загрязнений.

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.

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. По способу подвески и привода ситового короба сортировки щепы можно также разделить на два класса: а) с жесткой подвеской и б) с мягкой подвеской (амортизаторы, тросы). Наибольшее распространение получили сортировки типов 1а и 1б. В литературе их принято называть гирационными.

В таблицах 4 и 5 приведены технические характеристики установок для сортировки щепы, выпущенных ЗАО «Петрозаводскмаш». На рисунках 4 – 6 показан общий вид оборудования данного класса.

Сортировки СЩ-120 и СЩ-100-1, обладающие относительно небольшой производительностью, постепенно вытесняются с ЦБК. Тем не менее, парк этого надёжного оборудования ещё достаточно обширен. Кроме того, большинство конструктивных новшеств было опробовано именно на этих сортировках, в частности подвесная конструкция ситового короба впервые была применена на СЩ-100-1. Для установки сортировок СЩ-120 и СЩ-100-1 не требуется массивного фундамента. Монтаж установки прост и не требует специального оборудования.

Таблица 4. Технические характеристики сортировок СЦ-100-1 и СЦ-120

Параметр	Марка сортировки	
	СЦ-100-1	СЦ-120
Производительность (в насыпной мере), м ³ /ч	до 120	до 120
Площадь верхнего сита, м ² .	3,2	7,5
Частота колебаний, мин ⁻¹	180	160
Амплитуда колебаний, мм	50	50
Угол наклона сит, град	5	5
Мощность приводного двигателя, кВт	3,0	5,5
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм.	3150×2800×3250	4900×2675×1930
Масса сортировки (с электродвигателем и запасными частями), кг.	3600	3500

Таблица 5. Технические характеристики сортировок СЦ-200-1, СЦ-400-1, СЦ-600-1, СЦ-900-1

Параметр	Марка сортировки			
	СЦ-200-1	СЦ-400-1	СЦ-600-1	СЦ-900-1
Производительность по поступающей щепе, насыпных м ³ /ч	150-220	300-450	450-650	650-950
Количество ярусов сит, шт.	3	3	3	3
Площадь рабочей поверхности сит каждого яруса, м ²	6,0	12	16	20
Эффективность выделения фракций щепы, %:				
крупной	60-85	60-85	60-85	60-85
опилок	70-90	70-90	70-90	70-90
Мощность привода, кВт	7,5	11,0	15,0	18,5
Габаритные размеры, мм:				
длина	4270	6300	6900	7000
ширина	3210	3600	4100	4550
высота	2330	2950	2950	2950
Масса, кг (без учета массы запасных, монтажных и сменных частей, опорной металлоконструкции)	5400	9000	11500	13000

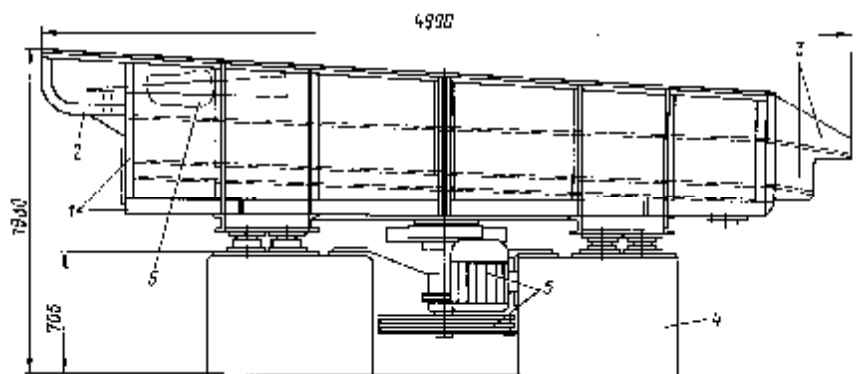


Рисунок 4. Общий вид сортировки щепы СЦ-120: 1 – ситовой короб; 2 – питающий желоб; 3 – отводящий желоб; 4 – фундамент; 5 – привод; 6 – распределитель

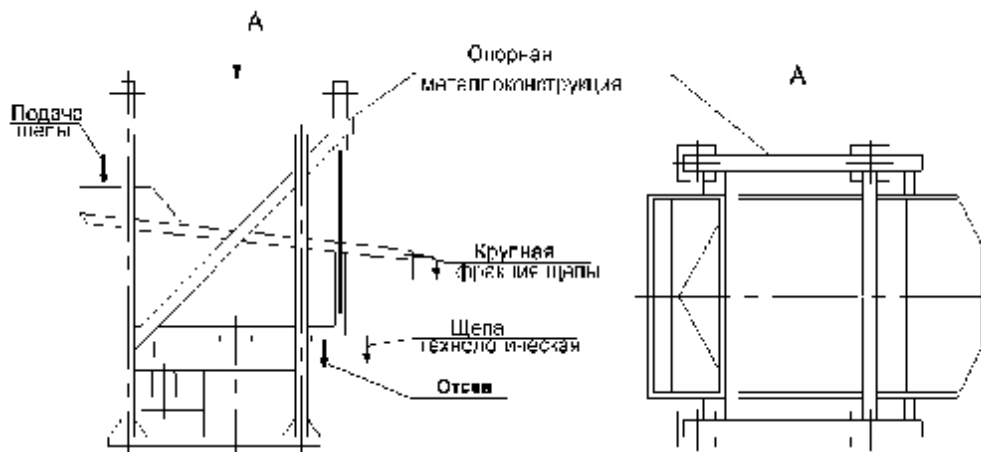


Рисунок 5. Общий вид сортировки щепы СЦ-100-1

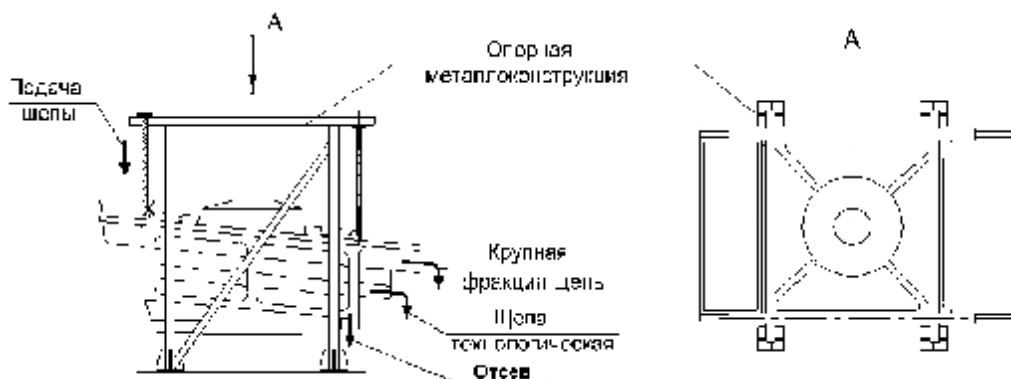


Рисунок 6. Общий вид сортировок щепы СЦ-200-1, СЦ-400-1, СЦ-600-1, СЦ-900-1

Привод упомянутых сортировок инерционный, обеспечивающий в рабочем режиме ситовому коробу круговые колебания с амплитудой 45...50 мм. В рабочем положении ситовый короб через специальные тросовые подвески крепится к опорной металлоконструкции, которая изготавливается и поставляется как отдельное изделие.

Несмотря на большое разнообразие применяемых сортировок, все факторы, определяющие процесс сортирования, можно разбить на три группы. Конструктивные: ширина сита и длина сита, размер и форма отверстий сортирующей поверхности сит [4]. Факторы, характеризующие механический режим сортирования, от которых зависит скорость движения материала по сортирующей поверхности: частота колебаний ситового короба, амплитуда (полуразмах) колебаний ситового короба, угол наклона сит [5]. Технологические: входные (фракционный состав сыпучей смеси), выходные (точность отсева, эффективность сортирования, объемная производительность) [3]. Выходные технологические параметры являются основными характеристиками процесса сортирования щепы.

Выводы

Анализ литературы по теме данной работы и результаты производственных экспериментов показали, что используемое в настоящее время на ЦБК оборудование для производства щепы не в состоянии обеспечивать её стабильный фракционный состав. Вызвано это целым рядом конструкционных особенностей рубительных машин и сортировок щепы, а также технологическими свойствами перерабатываемого сырья и условиями его переработки. Кроме того, практика показывает, что условия работы каждого ЦБК неодинаковы. И это является одной из причин нецелесообразности создания универсального оборудования. По критериям технической возможности и экономической эффективности более целесообразным может быть создание оборудования, в котором

реализованы возможности его адаптации к конкретному производству. При этом с целью получения технологической щепы высокого качества необходим учёт комплекса всех условий указанных выше трёх технологических операций (очистка круглых лесоматериалов от коры, измельчение балансов, разделение частиц измельчённой древесины на фракции). Необходимо провести исследования и разработать рекомендации, позволяющие учитывать условия каждого конкретного производства, и в дальнейшем либо специально изготавливать оборудование под проектируемый технологический процесс, либо модернизировать существующее оборудование в случае изменения технологических требований к щепе.

Библиографический список

1. Бойков С.П. Теория процессов очистки древесины от коры. Л.: ЛГУ, 1980. 152 с.
2. Вальщиков Н.М., Лицман Э.П. Рубительные машины: Монография. М.: Лесная промышленность, 1980. 96 с.
3. Васильев С.Б. Влияние параметров оборудования на процесс сортирования щепы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2007. № 2. С. 86-89.
4. Васильев С.Б., Колесников Г.Н. Логистический подход к моделированию фракционирования сыпучих материалов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2010. № 4. С. 61–65.
5. Васильев С.Б., Кульбицкий А.В. Исследование работы плоских гирационных сортировок щепы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. Вып. 189. С. 132–140.
6. Васильев С.Б. Исследование закономерностей изменения силы соударений с целью снижения потерь при окорке древесины в барабане / С.Б. Васильев, Г.Н. Колесников, Ю.В. Никонова, М.И. Раковская // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. Вып. 185. С. 195-202.
7. Васильев С.Б., Симонова И.В. Влияние параметров дисковой рубительной машины // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2007. № 6. С. 78-82.
8. Васильев С.Б., Симонова И.В. Обоснование формообразующих параметров диска рубительной машины // Известия Санкт-петербургской лесотехнической академии. 2007. Вып. 179. С. 130-135.
9. Газизов А.М. Повышение качества окорки лесоматериалов / А.М. Газизов, И.В. Григорьев, О.М. Гумерова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2009. №10. С. 132-140.
10. Рациональное использование древесины и лесосечных отходов в биоэнергетике: оценка потенциалов и технологических подходов / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнёв, А.П. Соколов, А.А. Селиверстов, В.К. Катаров, Ю.В. Суханов, Д.В. Рожин, И.И. Тюрлик, М.В. Фирсов // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. –

Краснодар: КубГАУ, 2011. – №73(09). Шифр Информрегистра: 0421100012\0373. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/50.pdf>

11. ГОСТ 15815-83. Щепа технологическая. Технические условия. М.: Госстандарт России.
12. Лаутнер Э.М. Основы теории получения технологической щепы и разработка нового поколения дисковых рубильных машин: Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. СПб: Изд-во СПб. гос. технол. ун-т растит. полимеров. 1995. 52 с.
13. Никишов В.Д., Гомонай М.В. О качестве технологической щепы // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2001. № 5. С. 130-133.
14. Симонова И.В., Васильев С.Б. Теоретическое исследование процесса взаимодействия древесного сырья с рабочим органом дисковой рубильной машины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2009. № 5. С. 102-106.
15. Bjurulf A. Chip Geometry. Methods to impact the geometry of market chips: Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 2006. 43 p.
16. Hartmann H., Böhm T., Jensen P.D., Temmerman M., Rabier F. and Golser M. Methods for size classification of wood chips // Biomass and Bioenergy. Vol. 30. Issue 11. November 2006. P. 944-953.
17. Hellström L.M., Gradin P.A. and Carlberg T. A method for Experimental Investigation of Wood Chipping Process // Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol. 23. Issue 3. 2008. P. 339-342.
18. 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. Issue 2. 2009. P. 225-230.
19. 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. P. 583-587.