

АРТЕМ ВАЛЕРЬЕВИЧ КУЛЬБИЦКИЙ

аспирант кафедры целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств лесотехнического факультета ПетрГУ
qart001@mail.ru

СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ ВАСИЛЬЕВ

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств лесотехнического факультета ПетрГУ
servas@psu.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ НА СТРАТИФИКАЦИЮ ЩЕПЫ ТОЛЩИНЫ СОРТИРУЕМОГО СЛОЯ И УГЛА НАКЛОНА СИТ

В статье приведены результаты исследования влияния толщины слоя сортируемой щепы и угла наклона плоских сит на точность отсева фракций щепы. Представлен краткий анализ проведенных исследований по данной теме.

Ключевые слова: толщина сортируемого слоя, угол наклона сит, процесс сортирования щепы

Актуальность проблемы. В последнее время в лесном комплексе наметилась тенденция к созданию установок и комплектов технологических линий, предназначенных для производства щепы различного назначения. Роль сортирующего оборудования в технологиях производства щепы велика. Несложная по техническому воплощению и неэнергоемкая операция позволяет выделять из всей массы измельченной древесины только ту ее часть, которая пригодна для дальнейших процессов переработки. Исходя из этого, перед конструкторами встает задача создания и доработки сортирующего оборудования, способного обеспечить разнообразные процессы технологической щепы.

Эффективность сортирования щепы оказывает большое влияние на экономические показатели производства, экологическую безопасность, развитие устойчивого лесопользования.

Для механического сортирования щепы в ЦБП в основном применяются плоские гирационные сортировки. Парк сортировок отечественного производства, находящихся в эксплуатации, обширен (8 типоразмеров). Практика эксплуатации и промышленные испытания обо-

дования показали, что различные конструктивные параметры сортировок оказывают существенное влияние на качество их работы.

С теоретической точки зрения движение щепы по ситам можно рассматривать как: а) движение материальной точки; б) движение элементарных слоев сыпучей смеси. Задача о движении по горизонтальной плоскости материальной точки, совершающей круговые колебания в той же плоскости, впервые была решена Н. Е. Жуковским геометрически. Аналитически эта задача изучена Цзя Шу-Хуаем [1]. В результате решения дифференциальных уравнений относительно движения частицы по плоскости установлено, что относительно движение совершается по круговой траектории с радиусом:

$$r_1 = r \cdot \sqrt{1 - z^2}. \quad (1)$$

Рассматриваемое движение может существовать только при условии:

$$z = \frac{g \cdot f}{r \cdot \omega^2} < 1, \quad (2)$$

где r – радиус круговой траектории колебаний плоскости; ω – частота колебаний; g – ускорение свободного падения; f – коэффициент трения скольжения.

На основе этих теоретических предпосылок автором монографии [2] предложены уравнения регрессии для определения частоты колебаний и скорости движения щепы по ситам в сортировках с углом наклона сит $\alpha = 2...5^\circ$:

$$\begin{aligned} n &= 40 \cdot \sqrt{\frac{f \cdot \cos \alpha}{r}}, \\ V &= 3,7 \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{r}{f \cdot \cos \alpha}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Однако данные уравнения не учитывают вид сортирующей поверхности, физико-механические характеристики сортируемого материала, взаимодействие частиц в сортируемом материале, что затрудняет их практическое использование.

В результате исследований, проведенных В. М. Цециновским [7], [8], была определена критическая частота колебаний, при которой не происходит «застывание» частиц в отверстиях сита. Полученная им формула применима для горизонтальных плетеных проволочных сит:

$$n_k = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a_k}{r}}. \quad (4)$$

В этой формуле:

$$\begin{aligned} a_k &= g \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sqrt{1 + C_0 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\operatorname{tg}^2 \varphi}\right)}, \\ C_0 &= 3 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{\gamma_0 \cdot \delta} + \frac{9}{4} \cdot \frac{\gamma^2 \cdot h^2}{\gamma_0 \cdot \delta^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{\delta + \Delta}{D + \Delta} - 1}}, \end{aligned}$$

где γ – объемный вес сортируемого материала; γ_0 – удельный вес частицы; μ – динамический коэффициент внутреннего трения продукта; δ – диаметр частицы; D – диаметр вписанной в квадрат отверстия сита окружности; $D + \Delta$ – шаг отверстий сита; Δ – диаметр нитей сита.

Формула (4) для плоских частиц, каковыми являются частицы щепы, неприемлема, но с определенными допущениями может быть использована при расчете сит, предназначенных для отсева мелких фракций (опилок).

Приведенные выше теоретические разработки описывают движение по ситам частиц, а не слоя сортируемого материала. Задачу о движении по горизонтальной плоскости слоя сыпучей смеси, совершающей круговые колебания в той же плоскости, исследовали В. В. Гортинский [3] и А. Н. Журавлев [4]. Схематизируя слой сыпучей среды в виде большого числа элементарных недеформируемых слоев, между которыми действуют

силы сухого трения, авторы рассматривают установившееся движение системы, при котором каждый слой совершает круговые колебания. Наблюдаемое на опыте уменьшение радиусов траекторий колебания слоев по мере удаления от колеблющейся плоскости объясняется тем, что коэффициент сухого трения между слоями является убывающей функцией веса вышележащих слоев.

До тех пор пока ускорение колебаний плоскости $r\omega^2$ не превосходит величины $a = f_0 \cdot g$, где f_0 – коэффициент трения верхнего элементарного слоя, все элементарные слои остаются в состоянии покоя относительно колеблющейся плоскости. При $r\omega^2$ большем, чем $a = f_0 \cdot g$, но не превосходящем некоторого предельного значения a_n , нижние элементарные слои сыпучей смеси по-прежнему движутся совместно с плоскостью, а верхние слои скользят относительно друг друга, совершая круговые колебания, радиус абсолютной траектории которых убывает по мере приближения к верхней границе слоя. Наконец, при $r\omega^2 > a_n$ все элементарные слои движутся относительно друг друга и относительно вибрирующей плоскости, причем радиусы траекторий слоев в абсолютном движении по-прежнему убывают по мере удаления от плоскости и уменьшаются по мере увеличения частоты колебаний ω .

Установленные в работах [3] и [4] общие закономерности послойного движения сыпучего материала не позволяют производить расчеты параметров круговых колебаний на сортирующей поверхности.

Учитывая изложенное выше, было решено провести исследование с использованием стенда, обеспечивающего варьирование различных параметров процесса сортирования щепы на плоских ситах.

Методика проведения исследований. Исследование процесса сортирования щепы проводилось на стенде, состоящем из следующих основных узлов: гирационная сортировка с переменными характеристиками режимов сортирования; дозатор, предназначенный для изменения количества подаваемой щепы; бункер несортированной щепы объемом 3 м^3 ; металлоконструкция с площадкой для обслуживания. Сортировка щепы состоит из привода, короба, рамы, транслятора, ограждения.

В качестве привода используется двигатель постоянного тока, частота вращения ротора которого устанавливается с помощью преобразователя и тахогенератора. От электродвигателя через клиноременную передачу вращение передается на вал сортировки. Короб сортировки представляет собой сварную конструкцию. Конструкция короба позволяет менять угол наклона сит от 0 до 11° . Дозатор состоит из корпуса, электродвигателя с тахогенератором, редуктора и шнека. Изменением частоты вращения шнека достигается необходимая толщина сортируемого слоя.

Исходным продуктом сортирования являлась щепа, полученная на дисковой рубильной машине из отходов лесопиления. В качестве сорти-

рующей поверхности использовалось сито с квадратными отверстиями 6×6 мм. Частота колебаний ситового короба составляла 228 мин^{-1} . Амплитуда колебаний равнялась 40 мм. Величина этих параметров была определена по результатам предыдущих исследований [5], [2]. Качество щепы оценивалось по фракционному составу, который определялся в соответствии с ГОСТ 15815-83. Остаток на сите анализатора с отверстиями диаметром 5 мм далее в тексте обозначен как «класс $(-10 +5)$ », а остаток на поддоне – как «класс $(-5 +0)$ ».

По объемам и фракционному составу продуктов сортирования определялась точность отсева (процентное отношение объема данного класса в подрешетном продукте к общему его количеству в исходном) по классам $(-10 +5)$ и $(-5 +0)$ по формуле:

$$\xi_i = \frac{P_2 \cdot \bar{b}_i}{P_1 \cdot \bar{a}_i + P_2 \cdot \bar{b}_i} \cdot 100\% .$$

где P_2 – объем подрешетного продукта i -го класса; P_1 – объем надрешетного продукта i -го класса; \bar{a}_i – средняя арифметическая содержания i -го класса в надрешетном продукте сортирования; \bar{b}_i – средняя арифметическая содержания i -го класса в подрешетном продукте сортирования.

Исследование осуществлялось варьированием одного фактора с закреплением других на одном постоянном уровне. При варьировании величиной угла наклона сит толщина сортируемого слоя составляла 40 мм. Угол наклона сит изменялся от 2 до 11° по отношению к горизонту. При варьировании величиной толщины сортируемого слоя угол наклона составлял 5° по отношению к горизонту. Толщина сортируемого слоя изменялась от 20 до 80 мм.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе исследований выявлено, что при увеличении угла наклона сита от 2 до 11° производительность сортировки возрастает приблизительно в два раза, при этом точность отсева изменяется незначительно (табл. 1).

Таблица 1

Влияние величины угла наклона сит на производительность и точность отсева

Наименование параметров	Значения параметров при углах наклона сита, град.			
	2	5	7	11
Производительность, насыпных $\text{м}^3/\text{ч}$	20	35,5	35,5	47,8
Точность отсева фракции $(-5 +0)$, %	88,7	87,5	82,0	86,3
Точность отсева фракции $(-10 +5)$, %	25,5	15,0	13,11	22,8

При увеличении толщины сортируемого слоя щепы от 20 до 80 мм производительность возрастает в восемь раз, при этом точность отсева изменяется незначительно (табл. 2).

Таблица 2

Влияние толщины сортируемого слоя на производительность и точность отсева

Наименование параметров	Значения параметров при толщине сортируемого слоя, мм			
	20	40	60	80
Производительность, насыпных $\text{м}^3/\text{ч}$	2,97	12,7	19,4	35,5
Точность отсева фракции $(-5 +0)$, %	92,6	92,4	91,7	87,5
Точность отсева фракции $(-10 +5)$, %	17,9	17,9	20,9	15,0

Выводы. Экспериментальные исследования процесса сортирования позволяют установить, что угол наклона сит и толщина сортируемого слоя являются значимыми факторами, влияющими на эффективность сортирования. Увеличение толщины сортируемого слоя оказывает более существенное влияние на повышение производительности и снижение точности отсева, чем изменение угла наклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю. Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964. 410 с.
2. Васильев С. Б. Влияние параметров оборудования на процесс сортирования щепы // ИВУЗ. Лесной журнал. 2007. № 2. С. 86–89.
3. Гортинский В. В. Послойное движение продуктов измельчения зерна на плоских ситах // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов. Труды ВНИИЗ. Вып. 42. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1963. С. 19–27.
4. Журавлев А. Н. Теоретические основы послойного движения сыпучего тела по ситам и вибрирующим поверхностям // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов. Труды ВНИИЗ. Вып. 42. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1963. С. 29–46.
5. Кульбицкий А. В. Влияние параметров колебаний плоских гирационных сортировок на процесс сортирования щепы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 12 / Под общ. ред. А. С. Алексеева, Э. М. Лаутнера. СПб.: СПбГЛТА, 2007. С. 99–105.
6. Левенсон Л. Б., Прейгерзон Г. И. Дробление и грохочение полезных ископаемых. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1940. 772 с.
7. Цециновский В. М. Интенсификация процесса просеивания продуктов размола на рассевах // Интенсификация процесса просеивания. Труды ВНИИЗ. Вып. 23. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1951. С. 16–24.
8. Цециновский В. М. Теоретические основы разделения сыпучих смесей // Интенсификация процесса просеивания. Труды ВНИИЗ. Вып. 23. М.: Изд-во ВНИИЗ, 1951. С. 26–34.