

УДК 67.03

ПАРАМЕТРЫ СИТОВОГО АНАЛИЗА ОТСЕВА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ**Васильев С.Б., Титова С.А., Питухин А.В., Городничина М.Ю.***ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»,
Петрозаводск, e-mail: servas@psu.karelia.ru, s-28@mail.ru*

Исследования проводились с целью установления параметров процедуры ситового анализа отсева, образующегося при изготовлении древесной щепы. Фракционирование проводилось с помощью комплекта из восьми сит, расположенных друг над другом. Просеивание навески, помещенной в верхнее сито, через весь комплект сит на поддон осуществлялось за счет круговых колебаний в горизонтальной плоскости. Для исследования использовался отсев с поддона сортировки, установленной в древесно-подготовительном цехе целлюлозно-бумажного комбината. Результаты исследования показали, что в качестве процедуры для определения фракционного состава древесных частиц с наибольшим размером менее 10 мм может быть использована стратификация частиц с использованием круговых колебаний. Параметры процесса могут быть следующими: радиус круговых колебаний – 20 мм, частота круговых колебаний – 3,5 оборота в секунду, продолжительность фракционирования – 60 секунд. Для фракционирования навески массой 100 г может быть использован комплект сит с отверстиями диаметром 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм и поддон. Сита могут быть выполнены в виде цилиндрической емкости, внутренний диаметр которой 200 мм, высота – 25 мм. Поддон может быть выполнен в виде цилиндрической емкости со сплошным дном, внутренний диаметр которой 200 мм, высота – 25 мм. Предложенное устройство и метод его использования могут быть применены для оценки крупности древесных частиц, используемых в качестве наполнителя древесно-композиционных материалов, топлива, сырья для производства плитных материалов.

Ключевые слова: древесная щепа, отсев, ситовой анализ**PARAMETERS OF CHIP DUST SCREEN ANALYSIS****Vasilev S.B., Titova S.A., Pitukhin A.V., Gorodnichina M.Y.***Petrozavodsk State University, Petrozavodsk,
e-mail: servas@psu.karelia.ru, s-28@mail.ru*

Studies were conducted to determine the parameters of screen analysis procedure of fines tray content generated in the course of wood chips manufacturing. Fractionation was performed with a set of eight screens, arranged one above the other. Sieving of a sample placed in the top screen through the screen set was conducted by means of circular oscillations in a horizontal plane. Fines were taken from a chips screen tray operating in the wood yard of a pulp and paper mill. The study revealed that stratification using circular oscillations may be used as the procedure for classification according to the size of the wood particles with the largest size not exceeding 10 mm. The process parameters were as follows: the radius of circular oscillations – 20 mm, circular frequency of oscillations – 3,5 revolutions per second, and fractionation time – 60 seconds. A set of screens with 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 mm round holes and a bottom tray may be used for a 100 g sample fractionating. Screens may be designed as a cylindrical container having an inside diameter of 200 mm, height – 25 mm. The bottom tray may be formed as a cylindrical container with a solid bottom, an inside diameter of 200 mm, height – 25 mm. The apparatus and technique can be applied for size assessment of wood particles to be used as wooden fillers for composite materials, energy wood and raw material for board materials manufacturing.

Keywords: wooden chips, fines tray, screen classification

Одним из видов отходов при производстве технологической щепы является отсев. Далее под отсевом подразумеваются древесные частицы, образовавшиеся при измельчении балансов в рубительной машине, наибольший размер которых меньше требуемого технологическим процессом. В ходе технологической операции сортирования эти частицы проходят через нижнее сито сортировки и поступают на поддон. Причинами образования отсева являются: состояние древесного сырья, геометрические параметры рубительной машины и подаваемого на измельчение баланса, интенсивность загрузки сортировки щепы и размеры ячеек сит [3, 5, 7, 10]. Можно предположить, что есть ещё много

других, пока не установленных или слабо изученных факторов, которые оказывают сильное влияние на процесс образования отсева при производстве технологической щепы. Анализ ситуации показывает, что образование отсева при производстве технологической щепы неизбежно. При хорошем качестве древесного сырья и правильной выбранной технологии его измельчения в щепу массовая доля отсева может колебаться в пределах 5...2% от всего объема переработанной древесины.

Обзор и анализ научной и нормативно-технической литературы, посвященной производству древесно-композиционных материалов [1, 2, 4, 6, 8, 9], позволяет предположить, что отсев можно использовать

для изготовления строительных материалов на цементном вяжущем.

Поскольку отсев имеет сложный фракционный состав, нам надо изучить, как каждая фракция или группа фракций обуславливает эксплуатационные характеристики изготовленных с их использованием материалов.

Существуют различные процедуры определения фракционного состава измельченной древесины (например, ТАРР1 и ГОСТ 15815). Их назначение – определение долей некондиционных фракций в технологической щепе. Сита, используемые для фракционирования смеси древесных частиц в этих процедурах, не позволяют сделать фракционный анализ сверхмелких частиц, которые составляют отсев. Поэтому в проведенных исследованиях использовали сита, применяемые в процедуре оценки фракционного состава грунтов. Параметры вибрации сит оставили как в ГОСТ 15815 «Щепа технологическая». Выбор привода связан с необходимостью создания круговых колебаний фракционируемой смеси в горизонтальной плоскости. Ранее было установлено [7], что именно такой метод целесообразен для отсева частиц, имеющих преимущественно продолговатую (игольчатую) форму, которые в основном составляют отсев. Использование упомянутого вида колебаний снижает количество частиц, проникающих сквозь отверстия сит по наименьшему размеру (толщине или ширине), что случается, если они принимают вертикальное положение.

Задача исследования – подтвердить возможность применения комплекта сит, совершающих круговые колебания в горизонтальной плоскости, для определения фракционного состава отсева, образующегося при производстве технологической щепы, а также определить время, необходимое для фракционирования навески.

Материалы и методы исследования

Для фракционирования был использован привод механического лабораторного анализатора щепы АЛГ-М. Подвижное основание совершает круговые колебания в горизонтальной плоскости радиусом – 20 мм, частотой – 3,5 оборота в секунду.

На подвижное основание анализатора крепился комплект сит и поддон. Сита представляли собой цилиндрическую ёмкость, внутренний диаметр которой 200 мм, высота – 25 мм. Дно сит выполнено в виде перфорированного стального листа. Диаметр отверстий перфорации составлял соответственно 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм. Сита располагались друг над другом таким образом, чтобы сверху оказывалось сито с перфорацией наибольшего диаметра, а внизу – наименьшего. Под нижнее сито устанавливался поддон, который также представлял собой цилиндрическую ёмкость, внутренний диаметр которой 200 мм, высо-

та – 25 мм. Дно поддона выполнено в виде стального листа без перфорации.

Отсев для исследования отбирался непосредственно с поддона сортировки, установленной в древесно-подготовительном цехе целлюлозно-бумажного комбината. Для проведения анализа методом квартования формировалась навеска отсева массой 100 г. Взвешивание производилось на электронных весах с точностью 0,1 г.

Отобранная навеска засыпалась в верхнее сито, закрывалась крышкой и просеивалась на анализаторе. По окончании фракционирования определялась масса остатков на ситах и поддоне. Далее по тексту остатки на ситах называются фракциями и обозначаются соответственно: остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм – фракция 10; остаток на сите с отверстиями диаметром 7 мм – фракция 7; остаток на сите с отверстиями диаметром 5 мм – фракция 5; остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм – фракция 3; остаток на сите с отверстиями диаметром 2 мм – фракция 2; остаток на сите с отверстиями диаметром 1 мм – фракция 1; остаток на сите с отверстиями диаметром 0,5 мм – фракция 0,5; остаток на сите с отверстиями диаметром 0,25 мм – фракция 0,25; остаток на поддоне анализатора – фракция 0. По результатам взвешивания рассчитывалась массовая доля каждой фракции в отсеве по формуле

$$\phi_i = \frac{g_{\phi_i} \cdot 100}{G},$$

где ϕ_i – массовая доля фракции, %; g_{ϕ_i} – масса фракции щепы, г; G – масса навески (в нашем случае всегда 100 г).

В рамках данного исследования была проанализирована партия отсева, образовавшегося при измельчении елового баланса в дисковой рубительной машине. Были проведены 3 серии опытов по 10 повторностей в каждом. Продолжительность фракционирования навески составила соответственно: в первой серии – 30 с, во второй серии – 60 с, в третьей серии – 90 с.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проведенного исследования установлено, что фракция 10 в проанализированной партии отсева, образовавшегося при измельчении елового баланса в дисковой рубительной машине, не содержится. Фракция 7 была выявлена в одном из тридцати опытов, что в среднем даёт значение около трёх сотых процента. Среднее содержание в исследуемом материале фракции 0,5 и фракции 0,25 также оказалось менее процента вне зависимости от продолжительности просеивания, хотя единичные опыты давали результат, незначительно превышающий 1 % (в пяти случаях из тридцати для фракции 0,5 и в четырёх случаях из тридцати для фракции 0,25). Фракция 0 не была выявлена при ситовом анализе, продолжавшемся в течение 30 и 60 секунд. Ситовой анализ, продолжавшийся в течение 90 секунд, выявил среднее содержание фракции 0 не более трёх десятых процента.

На основании приведенных выше результатов при оценке влияния продолжительности просеивания на точность определения фракционного состава результаты по фракциям 10; 7, а также 0,5; 0,25 и 0 не учитывались ввиду их незначительности. К рассмотрению были приняты результаты, полученные для фракций 5; 3; 2 и 1.

Средние арифметические значения содержания фракций 5; 3; 2 и 1 представлены в таблице. Анализ результатов показал увеличение массовых долей фракций 2 и 1 при увеличении продолжительности фракционирования. Массовая доля фракции 5 с увеличением продолжительности фракционирования снижается. Особый интерес представляет поведение фракции 3. Эта наиболее многочисленная фракция показывает наибольший результат при продолжительности просеивания 60 с. Такая тенденция может объясняться тем, что за 30 с вся масса частиц фракции 3 не успевает «добраться» до дна сита с отверстиями диаметром 5 мм. В то же время при продолжительности фракционирования 90 с частицы фракции 3 игольчатой формы могут принимать вертикальное положение вблизи дна сита с отверстиями диаметром 3 мм и проникают через него в расположенное ниже сито, переходя во фракцию 2.

Средние значения остатки на ситах для 30, 60 и 90 секунд просеивания

Фракция	Массовая доля, %, при продолжительности фракционирования, с		
	30	60	90
5	14,8	7,43	3,82
3	51,12	53,48	50,82
2	20,9	24,45	26,82
1	10,94	12,26	16,07

Поскольку средние значения не содержат полной информации о варьировании признаков, необходимо установить или отбросить связь между фактором времени и разницей остатков на ситах посредством дисперсионного анализа и в случае, если разница не случайна, оценить особенности распределения единичных значений по размаху вариации, среднеквадратическому отклонению и его динамике от опыта к опыту.

Результаты исследования, подлежащие дисперсионному анализу, были сгруппированы в равномерные однофакторные дисперсионные комплексы. Для каждого из комплексов оценивалось действие одного регулируемого фактора – продолжительности просеивания – на результативный при-

знак – массовую долю фракции в полидисперсной смеси, определяемую по остатку на сите. Количество дисперсионных комплексов соответствует количеству фракций (в нашем случае 4). Дисперсионное отношение (критерий Фишера – F), полученное в процессе вычисления, было сравнено со стандартным значением критерия Фишера (F_{st}). В результате вычислений установлено: для фракции 5 – $F = 43,54$, для фракции 3 – $F = 6,78$, для фракции 2 – $F = 33,22$, для фракции 1 – $F = 20,12$. Стандартное значение критерия Фишера в нашем случае $F_{st} = 5,48$ для уровня значимости 0,01. В связи с тем, что во всех случаях дисперсионное отношение больше стандартного значения критерия Фишера, можно сделать вывод о том, что разница между массовыми долями фракций, полученными при разных продолжительностях фракционирования, не случайна. То есть влияние продолжительности фракционирования на массовую долю фракции (остаток на сите) является статистически достоверным.

Единичные значения процентного содержания частиц из размерного промежутка (5; 7), фракция 5, представлены крайне нестабильным распределением, характеризующимся наибольшими, а значит худшими, во всем исследовании размахом вариации $R = 12,6\%$ и среднеквадратическим отклонением $S_x = 3,86$, полученными при тридцатисекундном просеивании, при 90 секундах ряд варьирует меньше. Наилучшие показатели получены при просеивании в течение 60 секунд: $R = 5,6\%$, $S_x = 1,63$. Размерные группы (3; 5), (2; 3) и (1; 2), определённые как остатки на ситах с диаметром отверстий 3, 2 и 1 мм соответственно, имеют наиболее нестабильные результаты при 90 секундах, а при шестидесятисекундном просеивании, наоборот, отмечаются минимальные показатели, так же как и в случае с фракцией (5; 7).

Таким образом, наибольшая кучность распределения единичных значений и минимальное варьирование всех рассмотренных рядов были выявлены при анализе результатов просеивания при 60 секундах.

Учитывая вышеприведённые результаты, продолжительность просеивания отсева на анализаторе щепы АЛГ-М принимается равной 60 секундам.

Вывод

В качестве процедуры для определения фракционного состава древесных частиц с наибольшим размером менее 10 мм, образовавшихся в результате измельчения круглых лесоматериалов в щепу, может быть использована стратификация частиц

с использованием круговых колебаний. Параметры процесса должны быть следующими: радиус круговых колебаний – 20 мм, частота круговых колебаний – 3,5 оборота в секунду, продолжительность фракционирования – 60 секунд. Для фракционирования навески массой 100 г следует использовать комплект сит с отверстиями диаметром 1; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм и поддон. Сита могут быть выполнены в виде цилиндрической ёмкости, внутренний диаметр которой 200 мм, высота – 25 мм. Поддон должен быть выполнен в виде цилиндрической ёмкости со сплошным дном, внутренний диаметр которой 200 мм, высота – 25 мм. Предложенное устройство и метод его использования могут быть применены для оценки крупности древесных частиц, используемых в качестве заполнителя древесно-композиционных материалов, топлива, сырья для производства плитных материалов.

Работа выполнена в рамках реализации комплекса научных мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

Список литературы

1. Андреев А.А., Колесников Г.Н. Совершенствование технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве древесно-цементных материалов для малоэтажного строительства // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6–6. – С. 1139–1143.
2. Борисов А.Ю., Колесников Г.Н. Особенности заготовки древесины осины и использование отходов ее переработки на складах лесозаготовительных предприятий // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1. – С. 244.
3. Васильев С.Б. Комплексные исследования процесса производства щепы // *Resources and Technology*. – 2003. – Т. 4. – С. 13–15.
4. Влияние фракционного состава отсева на прочностные характеристики материала из древесно-цементного композита / М.Ю. Городничина, С.А. Титова, С.Б. Васильев, И.О. Цулая // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции (23–27 июня 2014 г.)*. – 2015. – С. 56–60.
5. Девятникова Л.А. Потенциал ресурсосбережения в технологии подготовки круглых лесоматериалов к переработке на щепу // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного*. – 2013. – Т. 88. – С. 188–206.
6. Запруднов В.И. Зависимость упругих постоянных древесно-цементного материала от объёмного содержания компонентов // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. – 2015. – Т. 19. – № 1. – С. 21–23.
7. Технологические решения для реализации потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу / С.Б. Васильев, Л.А. Девятникова, Г.Н. Колесников, И.В. Симонова. – Петрозаводск, 2013. – 92 с.
8. Титова С.А., Кузьменков А.А. Измельчённая древесина: опыт и перспективы применения (на примере республики Карелия) // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10–10. – С. 2174–2177.
9. Титова С.А. Влияние крупности древесных частиц на плотность и теплопроводность щепоцементных блоков для малоэтажного строительства // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 2014. – Т. 2, № 3–2(8–2). – С. 441–444. – ISSN 2308-8877.
10. Уточненная модель влияния длины баласа, измельчаемого в дисковой рубительной машине, на размеры частиц древесной щепы / Г.Н. Колесников, Л.А. Девятникова, Н.А. Доспехова, С.Б. Васильев // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2015. – № 105. – С. 413–425.

References

1. Andreev A. A., Kolesnikov G.N. Fundamental research – Sovershenstvovanie tehnologii ispolzovaniya othodov lesopilnykh predpriyatij v proizvodstve drevlesno- cementnykh materialov dlja malojetazhnogo stroitelstva, 2014, no. 6–6, pp. 1139–1143.
2. Borisov A.Ju., Kolesnikov G.N. Modern problems of science and education – Osobennosti zagotovki drevlesiny osiny i ispolzovanie othodov ee pererabotki na skladah lesozagotovitelnykh predpriyatij, 2015, no. 1, pp. 244.
3. Vasilyev S.B. Resources and Technology – Kompleksnye issledovaniya processa proizvodstva shhepy, 2003, no. 4, pp. 13–15.
4. Gorodnichina M.Ju., Titova S.A., Vasilyev S.B., Cujaja I.O. Derevjannoe malojetazhnoe domostroenie: jekonomika, arhitektura i resursosberegajushhie tehnologii – Vlijanie frakcionnogo sostava otseva na prochnostnye harakteristiki materiala iz drevlesno- cementnogo kompozita, 2015, pp. 56–60.
5. Devjatnikova L.A. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University – Potencial resursosberezhenija v tehnologii podgotovki kruglykh lesomaterialov k pererabotke na shhepu, 2013, no. 88, pp. 188–206.
6. Zaprudnov V. I. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik – Zavisimost uprugih postojannykh drevlesno- cementnogo materiala ot objemnogo sodержanija komponentov, 2015, vol.19, no. 1, pp. 21–23.
7. Vasilyev S.B., Devjatnikova L.A., Kolesnikov G.N., Simonova I. V. Tehnologicheskie reshenija dlja realizacii potenciala resursosberezhenija pri pererabotke kruglykh lesomaterialov na shhepu, 2013, p. 92.
8. Titova S.A. Kuzmenkov A.A. Fundamental research – Izmelchjonnaja drevlesina: opyt i perspektivy primeneniya (na primere respubliky Karel'ija), 2013, no. 10–10, pp. 2174–2177.
9. Titova, S.A. Aktualnye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka: teorija i praktika – Vlijanie krupnosti drevlesnykh chastic na plotnost i teploprovodnost shhepo- cementnykh blokov dlja malojetazhnogo stroitelstva, 2014, vol. 2, no. 3–2 (8–2), pp. 441–444.
10. Kolesnikov G.N., Devjatnikova L.A., Dosphehova N.A., Vasilyev S. B. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University – Utochnennaja model vlijanija dljiny balansa, izmelchaemogo v diskovoj rubitelnoj mashine, na razmery chastic drevlesnoj shhepy, 2015, no. 105, pp. 413–425.

Рецензенты:

Петров А.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой архитектуры и геотехники, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск;

Колесников Г.Н., д.т.н., профессор, зам. директора по НИР Института рационального природопользования на Европейском Севере, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск.