

Комплексные исследования процесса производства щепы

С. Б. Васильев¹

Петрозаводский государственный университет

АННОТАЦИЯ

В статье приводится краткое описание методики и результаты исследований процессов измельчения древесины, сортирования и доизмельчения полученных древесных частиц.

Ключевые слова: щепа, машина рубительная, сортировка щепы, фракционный состав, дезинтегратор.

SUMMARY

Chipping, chips screening and rechipping processes complex investigation methods and results are under discussion.

Keywords: chips, chipper, chips screen, rechipper, chips classification.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Решением проблемы комплексного использования биомассы дерева, включая вопросы переработки вторичных ресурсов лесозаготовок и лесопиления на технологическую щепу, с давних пор занимался ряд исследователей России [1-4]. Однако полученных ими данных не достаточно для повышения эффективности комплексных процессов переработки различных видов биомассы дерева и вторичных ресурсов различных производств на технологическую щепу. Процесс производства щепы не рассматривается как комплекс, состоящий из операций и оборудования для измельчения, сортирования и доизмельчения полученного продукта.

На основании анализа работ предшественников, посвященных рассматриваемой проблеме, автором были сформулированы основные направления научного поиска и задачи исследования:

- провести исследование процесса переработки различных видов древесного сырья в рубительной машине;
- провести исследование процесса сортирования различных видов щепы на гирационных сортировках;
- провести исследование процесса доизмельчения крупной фракции щепы;
- разработать рекомендации по формированию технологических потоков, обеспечивающих переработку всех видов биомассы дерева на щепу с минимальными потерями.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение процесса переработки различных видов древесного сырья в рубительной машине включало в себя исследование влияния формы рабочей поверхности диска и заточки ножей, коэффициента непрерывности и скорости резания при верхнем и горизонтальном способах выброса на фракционный состав щепы, а также исследование горизонтального выброса щепы при наклонной подаче древесины к диску. Эти исследования были проведены на экспериментальной установке, созданной на базе дисковой рубительной машины МРНП-30. Диск в зависимости от условий эксперимента оснащался комплектом из 4, 8 или 16 ножей и накладок, как с геликоидальной, так и с плоской рабочей поверхностью. Частота вращения диска при исследованиях менялась от 100 до 1000 мин.⁻¹. Непрерывность резания моделировалась путем изменения сочетания количества ножей на диске и диаметра перерабатываемой древесины.

В качестве критерия для оценки влияния параметров и направлений оптимизации их значений в работе принята доля потерь. Она определялась как сумма мелкой фракции, отсева и доли крупной фракции, которая превращается в мелкую и отсев при доизмельчении. Фракционирование щепы осуществлялось на анализаторе АЛГ-М.

Исследования процесса сортирования щепы осуществлялись с использованием экспериментальной установки, состоящей из гирационной сортировки с переменными характеристиками режимов сортирования щепы; дозатора, предназначенного для изменения количества подаваемой щепы; бункера несортированной щепы объемом 3 м³. В сортировке могут устанавливаться одновременно два яруса сит, угол наклона которых регулируется в диапазоне 2-11°.

Диапазоны варьируемых в ходе экспериментальных исследований факторов: амплитуда колебаний сит – 20-80 мм; частота колебаний сит – 1,7...5,9 Гц, толщина сортируемого слоя – 20-80 мм, длина сит – 0,55-1,5 м. Исследовались сита: с квадратными отверстиями размером 60×60, 39×39, 8×8, 6×6 мм; с круглыми отверстиями диаметром 60, 50, 22, 18, 14, 10, 8 мм; с ромбическими отверстиями с размером большей диагонали 8 мм. В каждом опыте фиксировались: время сортирования с точностью до 1 с; объемы надрешетного и подрешетного продуктов с точностью 0,001 нас. м³; фракционный состав надрешетного и подрешетного продуктов с точностью 5 %.

Отбор проб и определение фракционного состава осуществлялись в соответствии с ГОСТ 15815-83. Толщина слоя щепы поддерживалась дозирующим устройством.

Экспериментальные исследования процесса доизмельчения крупной фракции щепы проводились на рубительной машине МРБ-5, барабанном дезинтеграторе щепы ДЗН-1 и дисковом дезинтеграторе «Andritz» CHR10-13А шведской фирмы «KONE WOOD».

¹ Автор – профессор кафедры технологии и оборудования лесного комплекса

В рубильной машине МРБ-5 измельчались крупные отходы сортирования щепы, полученной из круглой древесины на дисковой рубильной машине МРПП-30; из переработанной на щепу деревянной тары. Испытания дезинтеграторов ДЗН-1 и «Andritz» CHR10-13A проводились на отходах сортирования щепы, полученной из круглой древесины на рубильной машине МРН-100-1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованиями процесса измельчения биомассы дерева на щепу установлено, что замена плоской рабочей поверхности диска и прямой заточки ножей на геликоидальные уменьшает долю потерь на 10-20 %. Увеличение коэффициента непрерывности резания приводит к снижению доли потерь в щепе за счет уменьшения в ней долей крупной и мелкой фракций и отсева. При изменении значений этого коэффициента от 0,15 до 0,60 интенсивность процесса резко возрастает, а дальнейшее увеличение коэффициента на содержании потерь сказывается незначительно.

В результате установлено, что доля мелкой фракции и отсева в щепе с увеличением скорости резания возрастает, доля крупной – снижается. В целом доля потерь при производстве щепы с ростом скорости резания возрастает (рис.)

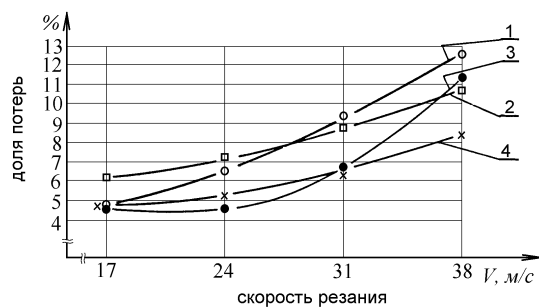


Рис. Зависимости доли потерь от скорости резания при: 1 – геликоидальной форме поверхности и верхнем выбросе; 2 – плоской форме поверхности и верхнем выбросе; 3 – геликоидальной форме поверхности и горизонтальном выбросе; 4 – плоской форме поверхности и горизонтальном выбросе

Экспериментальные исследования показали, что при горизонтальном способе выброса щепы и коэффициенте непрерывности резания больше единицы оптимальной является скорость резания 24 м/с. При верхнем способе выброса наименьшие значения доли потерь получены при скорости резания 17 м/с. Дальнейшее уменьшение скорости резания невозможно, так как прекращается выброс щепы из кожуха рубильной машины.

В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, позволяющие определять долю потерь в щепе в зависимости от скорости резания и коэффициента непрерывности:

$$P_0 = 6,532 - 2,417k + 0,005v^2 + 0,777k^2 - 0,019vk, \quad (1)$$

$$P_1 = e^{0,029v+0,961}, \quad (2)$$

$$P_2 = 16,741 - 0,114v - 52,382k + 0,006v^2 + 53,981k^2 + 0,013vk, \quad (3)$$

где P_0 , P_1 , P_2 – доли потерь соответственно при верхнем способе выброса щепы, при горизонтальном выбросе и коэффициенте непрерывности больше единицы, при горизонтальном выбросе и коэффициенте непрерывности меньше единицы, %; v – скорость резания, м/с; k – коэффициент непрерывности резания.

Конструктивные параметры по степени их влияния на долю потерь в щепе расположены в следующем порядке: скорость резания (сила влияния – 0,84...0,95); коэффициент непрерывности резания (сила влияния до 0,62); форма рабочей поверхности диска и заточки ножей (сила влияния до 0,36).

Исследования в промышленных условиях подтвердили выводы, сделанные по результатам исследования на стенде, и показали хорошую сходимость результатов расчета потерь по формулам (1)–(3) с полученными на практике (разница находилась в пределах 0,8...1,4 %, что обеспечивает уровень достоверности по t-критерию не ниже 0,95).

В ходе исследований процесса сортирования щепы установлены зависимости скорости схода щепы и точности отсева от частоты и амплитуды колебаний сита:

$$v = 1,5 \cdot 10^{-3} n^2 r \sin \alpha, \quad (4)$$

где v – скорость схода щепы, м/с; n – частота колебаний ситового короба, Гц; r – амплитуда колебаний, м; α – угол наклона сит, °.

$$\varepsilon_{\leftarrow 5+0 \rightarrow} = \frac{54,5(9-2,9d)}{62-1,5\alpha}, \%, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\leftarrow 10+5 \rightarrow} = \frac{14,0(7d-12)}{28-2,8\alpha}, \%, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{\leftarrow 30 \rightarrow} = 0,35d - 48, \%, \quad (7)$$

где $\varepsilon_{\leftarrow 5+0 \rightarrow}$, $\varepsilon_{\leftarrow 10+5 \rightarrow}$, $\varepsilon_{\leftarrow 30 \rightarrow}$ – точности отсева фракций щепы, соответственно остающейся на поддоне анализатора, на сите анализатора с отверстиями диаметром 5 мм, на сите анализатора с отверстиями диаметром 30 мм; d – диаметр отверстий сит сортировки, мм.

Обработка результатов исследований позволила получить уравнения, связывающие показатели точности отсева различных фракций щепы с диаметром отверстий сита, длиной сита и производительностью сортировки, отнесенной к единице ее ширины, которые представлены в табл.

Исследования, проведенные в промышленных условиях, показали хорошую сходимость результатов расчета по формулам (4)-(7) и приведенных в табл. с полученными на практике (разница находилась в пределах 1,7...2,8 %, что обеспечивает уровень достоверности по t-критерию не ниже 0,95).

При доизмельчении крупной щепы в дезинтеграторе получена щепы со следующим фракционным составом: фракция (+30) – 12,4 %; фракция (-30 +10) – 60,5 %; фракция (-10 +5) – 19,5 %, фракция (-5 +0) – 7,6 %. При переработке крупной щепы в дезинтеграторе происходит уменьшение размера частиц по длине, толщине и ширине соответственно в 2,2; 3,2 и 2,2 раза. Содержание в измельченной щепе частиц толще 7 мм составило 4,4 %, а длиннее 30 мм – 35 %. Содержание мелочи и опилок в полученной щепе превышает 27 %.

ВЫВОДЫ

1. По мере убывания степени влияния на долю потерь в щепе конструкционные параметры дисковых рубительных машин располагаются следующим образом: скорость резания, способ выброса щепы, коэффициент непрерывности резания, форма рабочей поверхности диска и заточки ножей.
2. Только при оптимальной скорости резания и коэффициенте непрерывности резания больше единицы использование геликоидальной наладки ротора по сравнению с плоской позволяет на 10-20 % снизить долю потерь.
3. Доизмельчение и сортирование крупной фракции позволяет вовлечь в технологический процесс 60 % крупной щепы, снизив общий объем потерь на 2,3 %.

4. Рекомендуются следующие параметры гирационных сортировок: амплитуда колебаний сит – 40 мм, угол наклона сит – 5...8°, частота колебаний – 2,5...3,7 Гц. Сита сортировок должны иметь круглые отверстия и максимально возможный коэффициент перфорации.

5. Сортировки щепы производительностью 150 и более м³/ч рекомендуется оснащать не менее чем тремя ярусами сит. В этом случае рекомендуются следующие сита с перфорацией в виде круглых отверстий: для верхнего яруса – с диаметром 45 или 55 мм, для среднего яруса – с диаметром 22 мм, для нижнего яруса – с диаметром 6 или 10 мм в зависимости от фракционного состава щепы, поступающей на сортирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальщиков Н. М. Рубительные машины. Л.: Машиностроение, 1970. 328 с.
2. 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.: Изд-во СПбГЛТА, 1996. 52 с.
3. Лицман Э. П. Исследование динамики измельчения древесины // Новое в области автоматизации и интенсификации процессов целлюлозно-бумажного производства: Сб. научн. тр. ВНИИБа, ВНПОбумпрома. Л., 1984. С. 55-62.
4. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья: Проблемы безотходной технологии. М.: Экология, 1991. 288 с.

Таблица

Зависимости для расчета показателей точности*

Фракция	Уравнения для расчета точности
(+30)	$\varepsilon = \frac{953}{q} + 36, \quad \varepsilon = \frac{90}{1 + 10^{0,44-1,08L}}$
(-30 +20)	$\varepsilon = 7,87 + 0,063q - 1,503d + 0,001q^2 - 0,008qd + 0,073d^2,$ $\varepsilon = \frac{25}{1 + 10^{0,92-0,84L}}$
(-20 +10)	$\varepsilon = 8,249 - 0,035q + 0,867d + 0,002q^2 - 0,018qd + 0,089d^2,$ $\varepsilon = 99,86 - 78,56L - 10,709d - 0,395L^2 + 5,809Ld + 0,28d^2$
(-10 +5)	$\varepsilon = 0,433 - 0,235q + 2,643d + 0,002q^2 - 0,003qd + 0,026d^2,$ $\varepsilon = 8,584 - 13,937L + 2,849d - 6,141L^2 + 4,267Ld - 0,12d^2$
(-5 +0)	$\varepsilon = 43,316 - 0,541q + 3,38d + 0,001q^2 + 0,026qd - 0,087d^2,$ $\varepsilon = 48,193 + 54,323L + 6,856d - 10,014L^2 + 1,52Ld - 0,217d^2$

* ε – точность отсева фракции, %; q – производительность сортировки, отнесенная к единице ее ширины, м³/ч×м; L – длина сита, м