

УДК 621.928

И. А. Полянин, Е. Л. Пугачёва

СОРТИРОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ ПО СМОЛИСТОСТИ

Рассмотрены вопросы сортировки технологической щепы, полученной из пневой и некондиционной древесины, в электростатическом поле по смолистости. Получена математическая модель отклонения технологической щепы в электростатическом поле в зависимости от расстояния между электродами и напряжением между ними. Представлены результаты экспериментальных исследований по сортировке технологической щепы. Сделаны основные выводы и рекомендации.

Ключевые слова: сортировка, технологическая щепка, смолистость, электростатическое поле, напряжение, пневая древесина, влажность.

Введение. Одним из важнейших условий для успешного выполнения задач в области лесной промышленности является повышение механизации технологических процессов и внедрения передовой ресурсосберегающей технологии на основе полного использования биомассы всех видов сырья лесозаготовительного производства. Одним из направлений полного использования биомассы дерева является широкое использование побочного вида сырья – пневой древесины, горбыля, сучьев, вершинок дерева и т.д., которое при современных условиях лесозаготовок составляет 15–25 % от общего объема заготавливаемой древесины. Кроме того, полное использование отходов деревообрабатывающих предприятий является одним из факторов безотходной технологии производства [1–3].

Производство технологической щепы как исходного материала для целлюлозно-бумажного, гидролизного имеет большое народно-хозяйственное значение. Максимальная переработка на технологическую щепу отходов древесины в лесопилении, деревообработке, а также пневой древесины приобретает огромное значение.

Основным сырьем канифольно-экстракционных и смоло-скипидарных предприятий является просмолившаяся хвойная древесина, а также пневой осмол, накапливающийся на вырубках в течение последующих 10–15 лет. За этот период заболонная часть пня сгнивает и остается ядровая древесина с высоким содержанием смолистых веществ. Рациональнее использовать в качестве сырья канифольно-экстракционного производства древесину и пни свежей порубки путем отделения смолистой части дерева от не смолистой. Так, например, свежие пни и отходы перерабатывающих предприятий следует превращать в технологическую щепу и сортировать её на щепу малой смолистости (менее 13 %) и щепу высокой смолистости (выше 13 %). Первая может быть успешно использована на целлюлозно-бумажных комбинатах, а вторая – на канифольно-экстракционных и смоло-скипидарных предприятиях.

Цель работы – совершенствование эффективности электростатической сортировки технологической щепы из пневой древесины для канифольно-экстракционных и целлюлозно-бумажных предприятий.

Существующие решения задачи, направленные на достижение цели. В отечественной и зарубежной практике промышленного производства существуют различные способы сортировки твёрдых и сыпучих материалов. Однако специфические особенности сортировки технологической щепы по смолистости исключают использование существующих способов для её разделения на высоко- и низкосмолистую. Единственным способом, позволяющим достичь положительного результата, на наш взгляд, является разделение технологической щепы с помощью электростатического сепаратора [4].

В Сибирском технологическом институте разработан способ отделения частиц коры от стружечной массы в электрическом поле [5] в специальном сепараторе с биполярной короной (рис.1). Основные узлы сепаратора – проволочные 3 и пластинчатые электроды 4. Принцип работы сепаратора заключается в создании поля коронного разряда путём подачи на электроды высокого полярного напряжения. Стружечная смесь равномерно сбрасывается с транспортёра 1 по направляющей 2 в поле с биполярной короной.

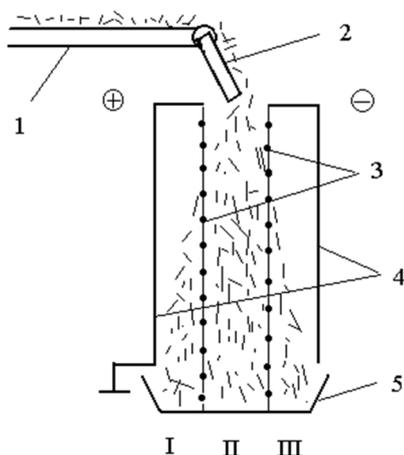


Рис.1. Сепаратор с биполярной короной для отделения частиц коры от стружечной массы

При этом частицы коры приобретают избыточный отрицательный заряд и перемещаются в сторону положительных электродов, собираясь в секции I приёмного бункера 5. Древесные частицы приобретают положительный заряд и перемещаются к отрицательным электродам. Наиболее мелкие древесные частицы падают в секцию III, а наиболее крупные – в секцию II приёмного бункера. Для исследования процесса разделения частиц коры и древесины была приготовлена стружечная смесь из древесины лиственницы, которая состояла из 90 % частиц древесины и 10 % частиц коры. Проведённые исследования показали, что с помощью одноступенчатого сепаратора коронного разряда можно при определённых условиях удалять из стружечной смеси до 85 % содержащейся в ней коры. Если построить сепаратор с несколькими ступенями, то процент удаления коры может быть значительно увеличен. Таким образом, исследования показали, что с помощью электрического поля можно эффективно разделять частицы коры и древесины [5].

В КирНИИЛПе разработан способ сортировки технологической щепы по смолистости, в основу которого положен способ электростатического разделения материалов, включающий доведение исходного материала до одинаковой степени влажности и обработку его в электрическом поле [6].

Предлагаемый способ [7] осуществляют в сепараторе свободного падения, который включает электроды размером 1000x1000 мм, размещённые под углом к вертикали, причем расстояние между электродами сверху и внизу составляет соответственно 100 и 200 мм. На электроды подают напряжение 100 кВ, при этом в межэлектродном пространстве образуется электростатическое поле, напряжённость которого находится в пределах от 5 до 10 кВ/см. Пневой осмол, содержащий древесину двух видов, например заболонную и ядровую, измельчают, доводят до одинаковой степени влажности 4,3 %, сортируют по крупности и направляют в электростатическое пространство. Поскольку содержание канифоли в указанных видах древесины различно, диэлектрические свойства их при влажности 4,3 % значительно отличаются, что приводит к тому, что частицы с разным количеством канифоли получают заряды разной величины и притягивают-

ся к разным электродам, при этом происходит отделение заболонной древесины от ядровой.

Проведение электрической сепарации древесины в поле, напряжённость которого поддерживается в пределах 10 кВ/см при влажности древесины 4,3 % с предварительной классификацией древесины по крупности, позволяет дополнительно извлечь 30–50 % ядровой древесины, обладающей высокой смолистостью. Основным недостатком данного способа является его высокая энергоёмкость.

Математическое моделирование. Нами установлено, что в однородном электрическом поле за появление подемоторных сил ответственны только свободные электрические заряды, поэтому со стороны электрического поля напряжённостью \vec{E} на диэлектрический заряженный шар действует сила

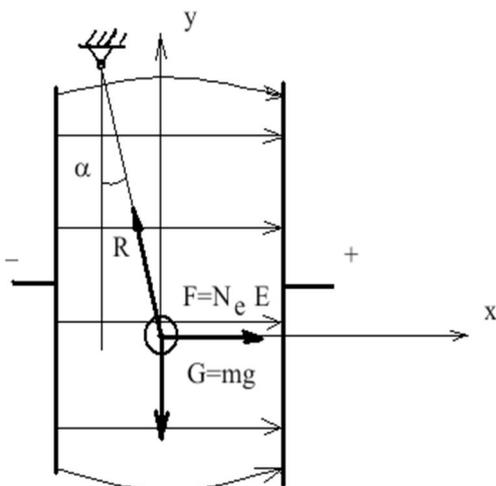
$$\vec{F} = Ne\vec{E}, \quad (1)$$

где e – заряд электрона, N – число свободных электрических зарядов.

Как известно [8], напряжённость поля плоского конденсатора имеет величину

$$E = \frac{U_0}{d}, \quad (2)$$

где U_0 – разность потенциалов между пластинами, d – расстояние между ними.



Полагая щепу подвешенной на невесомой, электрически нейтральной нити, силы, действующие на щепу в проекции на ось x (рис. 2), будут определяться из уравнений

$$\begin{aligned} \sum X &= 0, \\ F - R \sin \alpha &= 0. \end{aligned}$$

В проекции на ось ординат y имеет

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0, \\ R \cos \alpha - G &= 0. \end{aligned}$$

Откуда непосредственно находим

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{G} = \frac{NeU_0}{Gd} = \frac{\rho U_0}{G(l_1 + l_2)}, \quad (3)$$

где $\rho = eN$ – объемный заряд щепки,

$d = l_1 + l_2$ – расстояние между электродами.

Рис. 2. Смещение щепы в электрическом поле

Если задана длина нити l_0 , то смещение щепы в электрическом поле будет

$$l = l_0 \sin \alpha = l_0 \operatorname{sinarctg} \frac{\rho U_0}{G(l_1 + l_2)} \quad (4)$$

или, заменяя объемный заряд, получим

$$l = l_0 \operatorname{sinarctg} \frac{4\pi F (l_2 - l_1)^3}{3G(l_1 + l_2)}, \quad (5)$$

где F – сила притяжения щепы к пластине.

Техника эксперимента и методика обработки полученных результатов. Для изучения разделения технологической щепы по смолистости на отдельные фракции были выбраны образцы щепы одинаковой крупности и веса (350 мг), но разной смолистости: 8, 10, 13, 17 и 22 %. Каждый образец был помечен своей меткой. В экспериментах изменялась влажность щепы от 7 до 26 %. Исследования проводились на экспериментальной установке (рис. 3), дающей электрическое поле выпрямленного синусоидального напряжения.

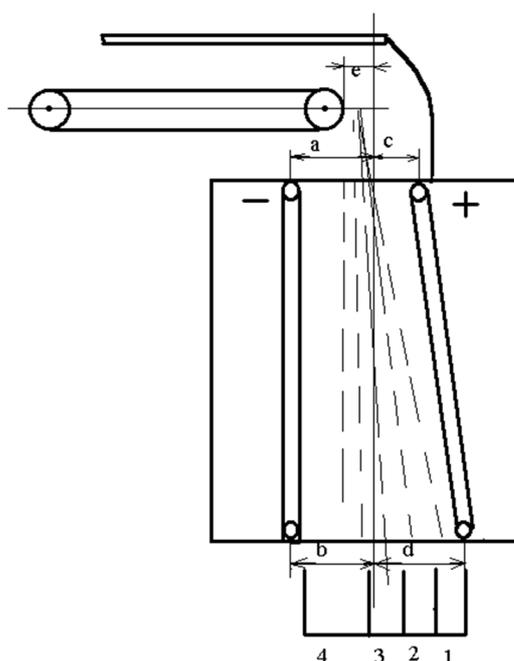


Рис. 3. Сортировка технологической щепы по смолистости

Для усиления эффекта сортировки щепы по смолистости щепа предварительно заряжалась отрицательными зарядами. Зарядка щепы осуществлялась на подающем транспортере при подаче её в электрическое поле сепаратора. Для этой цели транспортер был выполнен из медной эластичной сетки и соединен шиной с отрицательным электродом, а над транспортером была помещена металлическая пластина, соединенная с положительным электродом. При заданной скорости движения сетки транспортера время зарядки технологической щепы составляло 3 минуты. На электроды сепаратора подавалось напряжение от 44 до 91 кВ. В экспериментах образцы технологической щепы загружались на подзаряжающий транспортер, где происходила зарядка щепы, затем, при дальнейшем её движении в электрическом поле, происходило разделение щепы по смолистости и экспериментальные образцы попадали в карманы сепаратора, расположенные в его нижней части (1,2,3,4).

На движение и сортировку технологической щепы существенное влияние оказывает положение электродов (пластин). В ходе экспериментов плоские электроды (имея подвижность за счет разработанного их крепления) устанавливались на различных расстояниях от вертикальной оси сепаратора, а также и под различными углами к оси. Наиболее эффективное разделение щепы по смолистости (при всех прочих начальных условиях) происходило при следующем положении пластин в пространстве: $a=5$ см, $b=20$ см, $c=15$ см, $d=40$ см.

Экспериментальные исследования по разделению технологической щепы в электрическом поле по степени смолистости проводились со щепой с известными заранее процентом смолистости и влажности. Результаты исследований для смолистости 22, 17 и 13 % при напряжении между электродами при напряжении 75 кВ приведены в таблице.

Влияние смолистости щепы на величину её отклонения от вертикальной оси сепаратора

Смолистость, К, %	13	15	17	20	22
Отклонение, L, м	0,025	0,04	0,05	0,075	0,1

Графическая зависимость влияния величины смолистости технологической щепы на величину её отклонения показана на рис. 4.

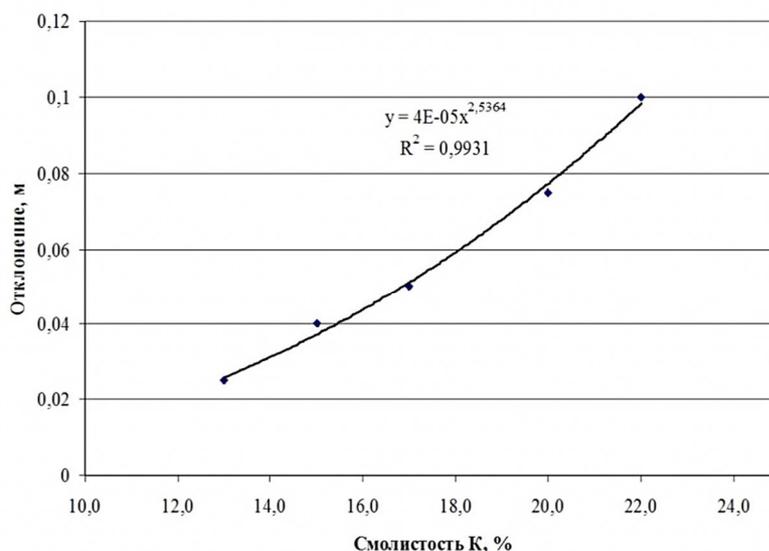


Рис. 4. Зависимость отклонения щепы от величины её смолистости

Как видно из графика (рис.4), с увеличением смолистости технологической щепы её отклонение в электростатическом поле тоже увеличивается. Эта зависимость выражается степенной функцией:

$$L = b_1 k^{n_1}, \quad (6)$$

$$L = 4E - 0,5k^{2,5364}.$$

В экспериментах использовалась щепа смолистостью 8, 10, 13, 17 и 22 % и влажностью от 13 до 28 %. Технологическая щепа предварительно проходила обработку по обеспечению необходимого процента влажности. Предварительно подготовленная щепа подвергалась дальнейшему экспериментальному исследованию на разделение в электрическом поле. Объем технологической щепы каждого кармана взвешивался на весах и помещался в отдельный целлофановый пакет для проведения дальнейшего анализа по влажности и смолистости. Анализ технологической щепы на влажность и смолистость проведен в лаборатории КирНИИЛПа.

Интерпретация результатов и их анализ. При эксперименте менялось положение электродов относительно осевой линии и величина подаваемого на электроды высокого напряжения. В ходе экспериментов было установлено, что при влажности щепы от 13 до 28 % наилучшее разделение щепы происходит при напряжении 75 кВ и положении электродов, характеризующем следующими величинами параметров: $a=5$ см, $b=20$ см, $c=15$ см, $d=40$ см, $e=17$ см. При данных начальных параметрах технологическая щепа повышенной смолистости в основном отклонялась к отрицательному электроду, а щепа малой смолистости – к положительному электроду.

Как показывают экспериментальные исследования, щепа с повышенной смолистостью (более 13 %) отклоняется в сторону 3 и 4 кармана, а технологическая щепа меньшей смолистости (менее 13 %) в карманы 1 и 2. Таким образом, в процессе сортировки щепы необходимо в конструкции установки предусмотреть шторку для разделения технологической щепы на высоко- и низкосмолистую. Разделительную шторку необхо-

димо установить между карманами 2 и 3, а в нижней части установки два бункера для сбора технологической щепы.

Анализ результатов эксперимента показывает следующее:

1) при отсутствии напряжения щепы не отклоняется в сепараторе свободного падения. Вся щепы падает в карман № 4;

2) при подаче на пластины выпрямленного синусоидального напряжения происходит отклонение щепы в сторону положительного электрода;

3) предварительная подзарядка щепы отрицательными зарядами способствует большему отклонению щепы меньшей смолистости и меньшему отклонению щепы большей смолистости;

4) при напряжении до 75 кВ и выше 75 кВ происходит рассеяние щепы в сепараторе или слабое её отклонение. При напряжении 75 кВ наблюдается разделение щепы по смолистости. Щепы смолистостью 8 % большей своей массой попадает в карман № 1, а щепы смолистостью 22 % – в карманы № 2 и № 3 (в основном в карман №2). Если пространство сепаратора разделить стенкой на уровне кармана № 2 на два отсека, то возможно разделение щепы по смолистости на две фракции – высокосмолистую и малосмолистую;

5) лучшее разделение щепы осуществляется при положении пластин: $a=5$ см, $b=20$ см, $c=15$ см, $d=40$ см, $e=17$ см.

Выводы

1. Разработан новый способ сортировки технологической щепы на мало- и высокосмолистую в постоянном электростатическом поле высокого напряжения с предварительной подзарядкой отрицательным зарядом и может быть рекомендован для промышленного внедрения.

2. Основываясь на законах физики и механики, получены математические зависимости отклонения технологической щепы при свободном падении в электростатическом поле.

3. Оптимальная величина выпрямленного высокого синусоидального напряжения для разделения щепы на высоко- и малосмолистую (критерий 13 %) равна 75 кВ. Постоянное напряжение может меняться в пределах от 65 до 85 кВ. Напряжения, лежащие за этими пределами, не эффективны.

4. При установке в сепараторе свободного падения на уровне нижних кромок плоских электродов вертикальной твердой шторки позволяет разделять технологическую щепу на две фракции, соответственно, ниже и выше 13 % смолистости.

5. Для большей эффективности сортировки щепы предварительно целесообразно подзарядать отрицательными зарядами. Для этой цели между подающим конвейером и сепаратором устанавливается промежуточный конвейер из металлической сетки. Промежуточный конвейер соединяется с отрицательным электродом. Над этим конвейером располагается на расстоянии не менее 20 см металлическая плоская пластина, соединенная с положительным электродом. В созданном постоянном электрическом поле щепы подзарядается. Ориентировочное время подзарядки составляет 20..35 с.

Список литературы

1. Гелес, И.С. Биомасса дерева и ее использование / И.С. Гелес, З.А. Коржицкая. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1992. – 230 с.

2. Коробов, В.В. Комплексное использование древесины / В.В. Коробов, Н.П. Рушнов. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 88 с.

3. Коробов, В.В. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии) / В.В. Коробов, Н.П. Рушнов. – М.: Экология, 1991. – 288 с.

4. Баруллин, В.Н. Сортировка древесных частиц в производстве древесно-стружечных плит / В.Н. Баруллин. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 45 с.
5. Вайс, А.А. Отделение частиц коры от стружечной массы / А. А. Вайс //Деревообрабатывающая промышленность. – 1975. – № 1. – С. 5-6.
6. А.с. 858920 СССР, МКИ³ В 03 С 1/00. Способ электростатического разделения материалов преимущественно древесины/ Ю.Г. Санников, Ю.Г. Мыров, Ю.П. Ивонин, П.И. Ротаренко, Г.А. Андреев (СССР). – №2788745/22-03; Заяв 02.07.79; Оpubл. 30.08.81, Бюл. №32. – 2 с.
7. Патент РФ №2231395, МКИ⁷ В 03 С 7/00. Способ электростатического разделения древесных материалов по смолистости / И.А. Полянин, А.Я. Полянин (Россия). – № 2002132607/03; Заявлено 12.04.02 Оpubл. 27.06.2004. – 4 с.
8. Тамм, И.Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М.: Наука, 1968. – 624 с.

Статья поступила в редакцию 26.04.12.

I. A. Polyinin, E. L. Pugacheva

CHIP ASSORTING BY GUMMOSITY OBTAINED FROM STUMPWOOD AND NON-STANDARD TIMBER

The problems of assorting of chip obtained from stumpwood and non-standard timber in electric field in accordance with gummosity are considered. A mathematical model of chip deviation in electric field depending on the distance between electrodes and voltage among them is obtained. Experimental research results in chip assorting are offered. The basic conclusions are made and some advice is given.

Key words: assorting, chip, gummosity, electric field, voltage, stumpwood, wetness.

ПОЛЯНИН Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – переработка пневой и некондиционной древесины, транспортировка лесоматериалов малыми транспортными средствами. Автор 72 публикаций.

E-mail: polyinin_ia@mail.ru

ПУГАЧЁВА Елена Львовна – аспирант кафедры транспортно-технологических машин Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – сортировка технологической щепы. Автор трёх публикаций.

E-mail: Pugelenlv@rambler.ru