

2. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014, № 10. С. 148-155.
3. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность: учеб. пособие / Н.И. Альберг, и др.; под ред. Н.И. Альберг – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 308 с.
4. Журавлёва Л.Н., Девятловская А.Н. Основные направления использования древесных отходов// Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007, №18. С. 96-99.
5. Сафин Р.Г., Саттарова З.Г. и др. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 21. С. 90-93.
6. Безруких Ю.А., Медведев С.О., Алашкевич Ю.Д., Мохирев А.П. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса// Экономика и предпринимательство. 2014, № 12-2. С. 994-996.
7. Васильева Т.В. Обзор сложившихся тенденций использования древесных отходов за рубежом // Лесной вестник. 2002, № 4. С. 71-73.

УДК 674.812

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРОЕКТ ВИБРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ В ВАРОЧНОМ КОТЛЕ

Попов В.В.<sup>1</sup>, Сиваков В.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический  
университет», г. Екатеринбург

*Ключевые слова:* вибровозбудитель, виброуплотнение, виброскорость, вибрация.

*Аннотация.* Выполнено исследование вибрационного уплотнения технологической щепы в варочном котле. Выполнены расчеты распространения вибрационных волн в технологической щепе.

## RESEARCH PROJECT VIBRATORY COMPACTION TECHNOLOGICAL WOOD CHIPS IN THE DIGESTER

Sivakov V.P.<sup>1</sup>, Popov V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

*Key word:* Vibration exciter, vibration compaction, vibration velocity, compaction, vibration, elastic-viscous.

*Abstract.* The study of vibration compaction of technological chips in the digester. The calculations of the propagation of vibration waves in the technological chips.

Для выбора характеристик вибрации при обработке материала частоты вибровозбудителя регулировались в интервале 10...75 Гц. При частотах вибрации ниже 15 Гц инерционным вибратором генерировались малые вынуждающие силы, быстро затухающие в толще материала. Максимальные уровни вибрации в материале наблюдались при частотах вибровозбудителя 20...40 Гц. Увеличение частоты вынуждающей силы от 40 до 75 Гц сопровождалось незначительным (до 5 %) возрастанием уровня вибрации технологической щепы при больших энергетических затратах на виброуплотнение.

Распространение вибрации в щепе зависит от направления бегущей волны. В горизонтальном направлении вынуждающая сила от вибровозбудителя генерирует в технологической щепе вибрацию в диапазоне 10...250 Гц с преобладающей интенсивностью в октавной полосе со сред негеометрической частотой 16 Гц. В вертикальном направлении от вибровоз-

будителя в технологической щепе возбуждается вибрация в частотном диапазоне 10...375 Гц с преобладающими уровнями в октавах со среднегеометрическими частотами 16 и 31,5 Гц.

Контуры вибрационного поля в горизонтальной плоскости имеют симметричную форму, в вертикальной – несимметричную. Вибрационные волны от вибратора из глубины материала к поверхности затухают быстрее, чем от источника вибрации вглубь уплотняемого материала. Распространение волн вибрации в технологической щепе в горизонтальном ОХ и вертикальном ОZ направлениях характерно для соотношения  $l_3 \ll l$ , где  $l_3$  – расстояние от оси вибратора до стенки В.К. Длина поля эффективной вибрационной обработки щепы определялась экспериментально из условия снижения общего уровня виброскорости до  $V_{min}$ , при котором прекращалось уплотнение. Принималось, что уплотнение щепы не происходит, если ее начальный объем не изменялся после обработки в течение 1 мин. Экспериментально установлено, что уплотнение технологической щепы прекращается при  $V_{min} \leq 2,2$  мм/с. Измерение расстояния от вибратора до вибропреобразователя в направлении распространения волны установлено, что  $l_3 = 1600$  мм при виброскорости на поверхности вибровозбудителя  $V_1 = 35...50$  мм/с.

При вибрационной обработке технологическая щепка подвергается периодическому сдвиговому деформированию. Установлено, что крошение технологической щепы минимально при вибрационной обработке со среднегеометрическими частотами 16 и 31,5 Гц и виброскоростью до 40 м/с, вызывающей малые деформации. Для предотвращения крошения щепы при сдвиговом деформировании вибрационная обработка производилась в узком диапазоне изменения вибрационных характеристик, отвечающим малым деформациям и малым скоростям деформации.

Изменения упруговязких свойств сыпучих материалов в области малых деформаций можно рассматривать как линейные. Для линейных упруговязких материалов соотношение между рассеянной и запасенной энергиями щепы, подвергаемой вибрационной обработке, характеризуется тангенсом угла потерь. Технологической щепе колебаний за счет вибрационных импульсов отдельным частицам материала сообщаются разные скорости и ускорения. Вследствие индивидуальных вибрационных характеристик частиц материала происходит укладка щепы в пределах вибрационного поля (рисунок 1).

Эффективность вибрационного уплотнения щепы зависит от времени вибрационной обработки, глубины погружения вибраторов в материал, направления и характеристик вибрации.

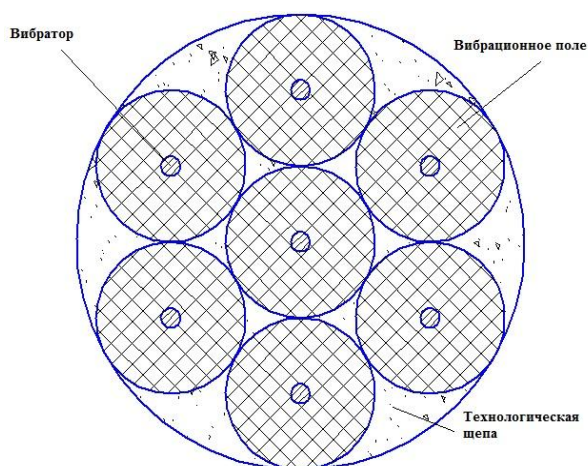


Рисунок 1– Схема вибрационного уплотнения

Характеристики распространения волн вибрации в технологической щепе приведены в таблице 1.

Общее затухание виброскорости на  $l_3 \propto 0 = V_1/V_{min}$ , где  $V_{min}$  – виброскорость в щепе на расстоянии  $l_3$  от вибровозбудителя.

Среднее затухание вибрации в октавной полосе преобладающей интенсивности колебаний

$$n - 1_i = 1V_i + 1 ,$$

где  $n$  – число  $i$ -х точек контроля виброскорости на длине  $l_3$ ;  $V_i$  – виброскорость технологической щепы в  $i$ -й контрольной точке.

Логарифмический декремент колебаний определялся приблизительно по формуле

$$D = \ln (V_i/V_{min}) .$$

Таблица 1

Экспериментальные характеристики распространения волн вибрации в технологической щепе

| Характеристика                                    | Величина характеристики в зависимости от направления волны |              |
|---|--|--------------|
|   | горизонтальное   | вертикальное |
| Общее затухание виброскорости $\alpha_0$ на $l_3$ | 8,30   | 7,90         |
| Среднее затухание виброскорости $\alpha$ на $l_3$ | 2,00   | 2,32         |
| Кинетическая энергия $T_{zj}$ , Дж                | 0,27   | 0,27         |
| Кинетическая энергия $T_{pj}$ , Дж                | 0,21   | 0,23         |
| Угол потерь $\delta_i$ , рад.                     | 0,66   | 0,71         |

При вибрационной обработке технологическая щепка подвергается периодическому сдвиговому деформированию. Установлено, что крошение технологической щепы минимально при вибрационной обработке со среднегеометрическими частотами 16 и 31,5 Гц и виброскоростью до 40 м/с, вызывающей малые деформации. Для предотвращения крошения щепы при сдвиговом деформировании вибрационная обработка производилась в узком диапазоне изменения вибрационных характеристик, отвечающим малым деформациям и малым скоростям деформации. Изменения упруговязких свойств сыпучих материалов в области малых деформаций можно рассматривать как линейные [1].

Для линейных упруговязких материалов соотношение между рассеянной и запасенной энергиями щепы, подвергаемой вибрационной обработке, характеризуется тангенсом угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta_i = T_{pj} / T_{zj}, j = x, z,$$

где  $T_{pj} = (m_b + m_{щ}) V_{pj}^2 / 2$  – кинетическая энергия, рассеянная в зоне вибрационной обработки щепы;  $T_{zj} = (m_b + m_{щ}) V_{1j}^2 / 2$  – кинетическая энергия, запасенная щепой в зоне вибрационной обработки;  $m_b$  – масса вибровозбудителя;  $m_{щ}$  – масса щепы, подвергающаяся эффективной вибрационной обработке;  $V_{pj} = V_{1j}^{(1-1/\delta_i)}$  – градиент (потери уровня) виброскорости при прохождении волн вибрации от вибровозбудителя до границ поля эффективной обработки щепы;  $V_{1j}$  – виброскорость вибровозбудителя.

Масса щепы определялась приближенно в предположении, что объем эффективной вибрационной обработки имеет форму шара с радиусом  $l_3$ .  $m_{щ} = 1/6 \gamma \pi l_3^3$ , где  $\gamma$  – плотность технологической щепы.

Экспериментальные характеристики распространения волн вибрации в технологической щепе приведены в таблице. Запасенная и рассеянные энергии в объеме вибрационной обработки (таблица) являются величинами одного порядка. При таком соотношении кинетических энергий виброобрабатываемый сыпучий материал находится в фазе перехода от неподвижного состояния в «вязкотекучее» [1].

Затухание колебаний по длине и глубине технологической щепы происходит по экспоненциальному графику (рисунок 2). Энергия колебаний при этом рассеивается в слое материала, толщина которого меньше  $l$ .

Вибрация в объеме щепы возбуждает продольные волны. При распространении вибрации в щепе происходит их затухание, обусловленное диссипативными процессами, связанными со сдвиговой и объемной вязкостью щепы. Первой причиной затухания волн являются

структурные, происходящие внутри частиц материала, необратимые процессы, сопровождающиеся рассеиванием энергии. Под воздействием структурных процессов, происходит их разрушение или деформация. Вторая причина затухания вибрации в щепе связана с процессом трения между частицами в материале.

При распространении в технологической щепе колебаний за счет вибрационных импульсов отдельным частицам материала сообщаются разные скорости и ускорения. Вследствие индивидуальных вибрационных характеристик частиц материала происходит укладка щепы в пределах вибрационного поля.

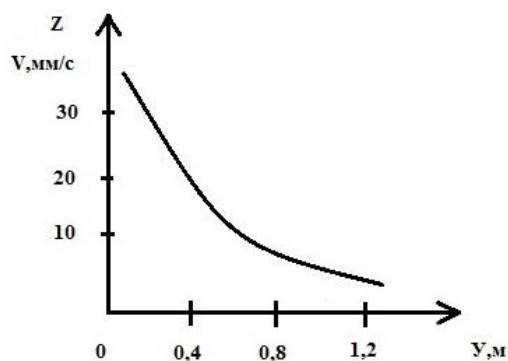


Рисунок 2– График распространения виброскорости в технологической щепе

Эффективность вибрационного уплотнения щепы зависит от времени вибрационной обработки, глубины погружения вибраторов в материал, направления и характеристик вибрации [3]. Уплотнение щепы в цилиндрическом резервуаре с открытой поверхностью при пятиминутной вибрационной обработке повысило степень наполнения в 1,25 раза.

Если заменить в варочном котле паровой уплотнитель на вибрационный, упадут затраты на уплотнение технологической щепы.

Выводы.

1. Определена зависимость уплотнения технологической щепы от параметров вибрации погружного вибровозбудителя.
2. Выбран диапазон вибрационного воздействия ( $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ) на технологическую щепу, при котором щепы не подвержена крошению.
3. Установлен график распространения волн вибрации в технологической щепе.
4. Предусмотрен вариант установки вибраторов в поперечном сечении варочного котла при вибрационном уплотнении щепы.

### Список литературы

1. Басов, Н.И. Виброформование полимеров / Н.И. Басов, С.А. Любартович, В.А. Любартович. – Л.: Химия, 1979. – 160 с.
2. Сиваков, В.П. Вибрационное уплотнение технологической щепы / В.П. Сиваков // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: Межвуз. сб. научн. тр. – СПб.: СПбГТУРП, 1997. – С. 17–20.
3. Патентный поиск и изыскание технических решений по вибрационной интенсификации уплотнения щепы в варочных котлах: Отчет о НИР / УЛТИ; Научный руководитель Сиваков В.П. № 27/86; № Гр.01860006621; Инв. № 02.87.0024350. Свердловск. 57 с.