

УДК 676.0

DOI 10.15393/j2.art.2017.3801

Обзор

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОУДАРЕНИЙ БАЛАНСОВ В КОРООБДИРОЧНОМ БАРАБАНЕ

Юлия В. Никонова<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, пр. Ленина, 29;  
E-Mail: juli4455@mail.ru.

\* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: juli4455@mail.ru;  
Tel.: +7(8142)764986

*Получена: 24 мая 2017 / Принята: 18 июня 2017 / Опубликовано: 23 июня 2017*

---

**Аннотация:** Затронуты вопросы влияния размеров барабана, частоты его вращения, степени заполнения, породы древесины, длины и диаметра балансов на процесс окорки. Под балансом в данной работе понимаются круглые сортименты, предназначенные для производства древесноволокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажной промышленности. Основное внимание уделяется вопросам ресурсосбережения в процессе очистки древесины от коры. Процесс окорки в корообдирочных барабанах является достаточно энерго- и ресурсоёмким, что предопределяет существование проблемы совершенствования данного технологического процесса. По результатам обзора определены ключевые факторы, характеризующие параметры сырья и режим окорки, которые можно свести к двум показателям: количеству и силе ударов, получаемых балансом за единицу времени. Эффективность отделения коры от древесины, а также величина потерь древесного сырья определяются интенсивностью взаимодействия балансов в барабане.

**Ключевые слова:** балансы; корообдирочный барабан; окорка; математическая модель

---

DOI 10.15393/j2.art.2017.3801

*Review*

## THE SIMULATIONS OF PULPWOOD IMPACTS IN DEBARKING DRUM

Ulia V. Nikonova <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Lenina, 29; E-Mail: [juli4455@mail.ru](mailto:juli4455@mail.ru).

\* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: [juli4455@mail.ru](mailto:juli4455@mail.ru);  
Tel.: +7(8142) 764986.

*Received: 24 May 2017 / Accepted: 18 June 2017 / Published: 23 June 2017*

---

**Abstract:** The issues of the influence of the size of the drum, the frequency of its rotation, the degree of filling, wood species, length and diameter of the pulpwood's on the process of debarking. Under the pulpwood in this paper refers round assortments intended for the production of semi-finished wood fiber in the pulp and paper industry. The main attention is paid to the resource in the process of cleaning the wood from the bark. The process of debarking in debarking drums is quite energy-and resource-intensive, which determines the existence of the problem of improving the process. Based on our review identified the key factors that characterize the parameters of raw materials and the mode of barking that can be traced to two factors: the number and strength of the impact given the pulpwood per unit of time. The separation efficiency of wood bark and wood raw material value of the losses determined by the intensity of interaction pulpwoods in the drum.

**Keywords:** pulpwood; debarking drum; debarking; mathematical model

---

## 1. Введение

Теоретические аспекты моделирования систем с механическими соударениями и решения ряда задач с применением аналитических и численных методов рассмотрены, например, в работах [1, 8]. Аналитические решения могут быть получены для ограниченного класса задач [16]. Применительно к моделированию рассматриваемого технологического процесса целесообразно применение численных методов, что объясняет сложность объекта исследования. С учётом особенностей прикладной задачи при построении математической модели целесообразно использование метода конечных разностей в сочетании с методом конечных элементов. Необходимость учёта различий контактной и бесконтактной фаз движения тел, а также повторных их соударений существенно усложняет задачу в вычислительном отношении. Изучение данного вопроса показало, что достаточно эффективная математическая модель для решения задач рассматриваемого класса может быть построена с использованием и адаптацией алгоритмов, в которых исходная проблема сводится к линейной задаче дополненности [16]. В этом случае модель позволяет относительно просто прогнозировать траекторию, скорость и ускорение движения точек каждого отдельно взятого бревна, число соударений, величину и продолжительность действия сил динамического взаимодействия брёвен друг с другом и корпусом барабана [3, 11, 17].

Рассмотрим модельные примеры определения зависимости вертикальных перемещений и сил контактного взаимодействия от времени при соударениях в одномерной системе  $n$  тел, находящейся в поле сил тяжести.

В данной работе условно предполагается, что вертикальным перемещениям деформируемых балансов в одномерном массиве препятствуют только балансы этого же массива, а соседние — слева и справа — не оказывают сопротивления движению. В этом случае результатом моделирования, очевидно, будут несколько завышенные оценки силы соударений. Формально это означает, что для сил соударений будут получены оценки сверху. Практическое значение таких количественных оценок выражается, в частности, в обеспечении возможностей прогнозирования разрушения материала не только коры, но и остальной части брёвен, что может быть использовано при совершенствовании конструкции корообдирочных барабанов, а также при обосновании степени заполнения барабана и других характеристик рассматриваемого технологического процесса окорки древесины.

Тела системы начинают свое движение при  $t = 0$ . Начальное значение зазора равно 1 м. Начальные значения всех остальных зазоров равны нулю. Масса каждого из тел равна 100 кг. Тело взаимодействует со стенкой корообдирочного барабана. Коэффициент жёсткости, определяющий податливость контактирующих тел, может быть определён экспериментально или по результатам конечно-элементного моделирования. В данной работе жёсткость каждого из тел принята равной 20 000 кН/м. Сопротивление движению тел в фазе соударения, как отмечено выше, пропорционально скорости, причём коэффициент

пропорциональности, определяющий рассеяние энергии, принят равным для двух вариантов расчёта 1000 кг/с. Этот коэффициент может быть определён по результатам экспериментов. В бесконтактной фазе движения тел сопротивление среды принято равным нулю. Шаг по времени в конечно-разностной схеме при решении данного примера был принят равным 0,0005 с.

Выводы по результатам анализа решения данного модельного примера согласуются с ранее полученными данными численного моделирования [3, 17] и показывают следующее:

1. Продолжительность контактного взаимодействия при первом соударении составляет примерно 0,01 с.

2. В верхней и в нижней частях штабеля имеет место более интенсивное динамическое взаимодействие тел.

3. С увеличением числа брёвен (т. е. увеличением степени заполнения корообдирочного барабана) величина сил контактного взаимодействия в центральной части поперечного сечения массива этих брёвен уменьшается. При большой степени заполнения величина этих сил может оказаться недостаточной для выполнения условия разрушения коры. Результаты представленных вычислений подтверждаются известными экспериментальными данными, согласно которым при большой степени заполнения часть брёвен в центральной части поперечного сечения их массива в корообдирочном барабане может обрабатываться недостаточно интенсивно [19].

## **2. Влияние жёсткости корпуса корообдирочного барабана на изменение силы соударений балансов**

С точки зрения механики причины потерь древесины заключаются в появлении избыточно больших сил контактного взаимодействия при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана в процессе их окорки. Но при определённых условиях эти силы могут оказаться недостаточными для преодоления сцепления коры с древесиной. В этой связи представляет практический интерес исследование и уточнение закономерностей распределения данных сил в массиве балансов.

Следует отметить, что качественные характеристики и словесные формулировки, приближенно отражающие такие зависимости, известны. Например, при достаточно большой степени заполнения барабана в массиве сортиментов появляется область, в которой сила взаимодействия оказывается недостаточной для преодоления сцепления коры с древесиной [19]. Очевидно, уточнение этих характеристик с получением количественных оценок обеспечит возможность более тонкой настройки технологического процесса, что, в конечном счёте, позволит повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции при выполнении требований рационального природопользования. Для осуществления такой настройки необходима соответствующая автоматизированная система управления технологическим процессом, разработка которой предполагает постановку и решение

комплекса задач с использованием математических моделей и экспериментальных данных, которые отражают закономерности, имеющие место в реальных ситуациях.

Например, содержащиеся в статьях [2, 3, 11, 17, 18, 14] результаты исследования закономерностей распределения сил контактного взаимодействия в массиве сортиментов, подвергаемых очистке в корообдирочном барабане, позволяют сформулировать предположение о том, что увеличение локальной жёсткости корпуса барабана приводит к неблагоприятному перераспределению указанных сил и, как следствие, к возрастанию потерь древесины. В то же время анализ литературы показал, что вопросы количественной оценки влияния локальной жёсткости корпуса барабана на закономерности распределения сил, появляющихся при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана, относятся к числу недостаточно изученных.

Преодолеть сложности решения технологических задач данного класса позволяет использование современных численных методов, что показано в статьях [2, 3, 11, 12, 17] на примерах решения модельных задач, в которых требовалось найти нормальные силы контактного взаимодействия при соударениях балансов друг с другом и с корпусом барабана.

В работе [17] рассмотрен вариант методики решения задач того же класса, в котором приняты во внимание не только нормальные, но и касательные силы контактного взаимодействия сортиментов.

В статье [2] приведена содержательная интерпретация результатов математического моделирования с учётом практических потребностей совершенствования технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане, учтены скорость изменения и величина силы соударений, выявлены причины увеличения потерь древесины при окорке и обоснованы предложения по их устранению. При этом оценка достоверности результатов моделирования, полученных с применением численных методов, выполнена с использованием отчётов об испытаниях реальных корообдирочных барабанов.

Однако в работах [2, 3, 11, 17, 18, 14] не исследовано влияние локальной жёсткости корпуса барабана на величину сил контактного взаимодействия и на долю потерь древесины при окорке с вовлечением в анализ количественных оценок.

Целью данной части работы является анализ влияния локальной жёсткости корпуса барабана на распределение сил контактного взаимодействия при соударениях сортиментов друг с другом и с корпусом барабана, получение соответствующих количественных оценок, а также использование закономерностей, выявленных в ходе анализа, для обоснования новых возможностей совершенствования технологического процесса с получением эффекта, выражающегося в уменьшении потерь при окорке древесины. Для решения появляющихся в этой связи задач использована методика математического моделирования [2, 17], варианты и примеры применения которой представлены в упомянутых выше статьях [2, 3, 11, 17].

При определении цели данной части работы принято во внимание, что в настоящее время большую практическую значимость приобретают решения технологических задач,

связанных с совершенствованием сухой окорки древесины и окорки балансов длиной 6 м и более. Решение первой задачи позволит повысить экологическую безопасность процесса производства щепы за счёт снижения потребления воды и увеличения эффективности процесса утилизации отходов окорки. Решение второй задачи позволяет сократить объём отходов при производстве щепы от 1,5 до 5 % за счёт исключения потерь при раскросе лесоматериалов на короткие (менее 2 м) балансы.

Локальная жёсткость корпуса барабана в рассматриваемой модельной задаче принята равной жёсткости условной пружины:  $S_0 = k \times S$ , где  $S$  — коэффициент жёсткости бревна при соударении. Коэффициент  $S$  принят одинаковым для всех брёвен. Это коэффициент может быть определён по результатам испытаний реальных сортиментов, приближенные значения — по представленным в литературе данным [10]. Очевидно, выполнив расчёты по представленной выше методике [17], можно выявить закономерности изменения силы соударений сортиментов и других характеристик в зависимости от параметра локальной жёсткости корпуса барабана.

Таким образом, моделируется ситуация, когда верхнее бревно после свободного падения соударяется с четырьмя остальными. Коэффициент жёсткости  $S$ , определяющий податливость контактирующих тел, принят равным 20 000 кН/м. Коэффициент пропорциональности, определяющий рассеяние энергии в материале сортиментов, принят равным 10 000 кг/с, как и в работах [3, 17]. Рассеяние энергии учитывается только при их соударениях. В бесконтактной фазе движение сортиментов рассматривается как свободное от сил сопротивления. Такое движение имеет место для верхнего баланса на временном промежутке от 0,00 до 0,45 с. На этом отрезке времени скорость движения тел  $V_1...V_4$  в рассматриваемой модельной задаче обусловлена собственными колебаниями, которые с течением времени затухают. Далее рассматривается взаимодействие тел только на отрезке времени от 0,45 до 0,50 с.

Вычисления выполнены при шаге по времени, равном 0,0001 с, что при характерной продолжительности соударения, примерно равной 0,01 с, обеспечивает достаточно подробное отражение процесса контактного взаимодействия в рассматриваемой задаче.

Представленные зависимости получены для указанного выше параметра локальной жёсткости, они почти совпадают с результатами решения модельной задачи, в которой корпус барабана предполагался абсолютно жёстким при идентичности прочих исходных данных [2, 17, 18].

Представленные результаты численного моделирования позволяют сделать следующие выводы.

1. Увеличение указанного выше параметра  $k$  локальной жёсткости корпуса барабана от 1 до 100 мало влияет на изменение величины и скорости сил контактного взаимодействия.
2. Уменьшение параметра  $k$  от 1 до 0,2 влияет на изменение величины и продолжительности действия контактных сил в существенно большей степени. Однако в этом случае скорость движения сортиментов изменяется незначительно.

3. Изменение локальной жёсткости не влияет на характеристики воздействия для верхнего слоя брёвен.

4. Увеличение локальной жёсткости корпуса барабана приводит к значительному возрастанию динамического воздействия на нижний слой брёвен, что влечёт за собой наблюдавшееся при испытаниях увеличение потерь. Аналогичный вывод был сделан в работе [2].

5. Представляется целесообразным выполнение аналогичных расчётов при проектировании реальных корообдирочных барабанов с учётом конкретных исходных данных в целях совершенствования технологического процесса очистки древесины. В частности, необходимо учитывать влияние влажности не только на прочность соединения коры с древесиной, но и на жёсткость древесины, а значит, и на характеристики динамического взаимодействия сортиментов в барабане, что может быть использовано в целях совершенствования рассматриваемого технологического процесса.

### **3. Об адекватности результатов численного моделирования по предлагаемой методике**

Для оценки адекватности результатов численного моделирования воспользуемся данными, полученными при испытаниях реальных корообдирочных барабанов [2]. В этих барабанах изменение локальной жёсткости корпуса имело место по причине их оснащения механическими интенсификаторами. Заметим, что к уменьшению локальной жёсткости корпуса барабана приводят перфорация внутренней его оболочки или другие особенности проектного решения.

Рассмотрим результаты испытаний корообдирочных барабанов с механическими интенсификаторами. Проблема интенсификации процесса групповой окорки возникла с созданием линий периодического действия, предназначенных для производства щепы непосредственно в леспромхозах. Применение воды в качестве интенсификатора процесса окорки в этих условиях практически невозможно, а использование пара сопряжено с большими техническими и экономическими затратами. По этой причине было решено оснастить корообдирочные барабаны, входящие в комплекс подготовки щепы, механическими интенсификаторами. Интенсификаторы выполнены в виде расположенных на внутренней поверхности барабана окорочных элементов пирамид с пилообразными гранями-ножами. Для интенсификации процесса очистки древесины от коры на внутренней поверхности барабана устанавливались также Н-образные ножи.

Испытания проводились в производственных условиях цеха технологической щепы Междуреченского леспромхоза в марте 1990 г. На начало испытаний установка отработала 532 ч, при этом было произведено 3000 м<sup>3</sup> щепы. В период испытаний на переработку в корообдирочный барабан подавалась древесина хвойных пород (ель, сосна) и лиственных пород (берёза). Древесина была срублена непосредственно перед подачей в барабан, т. е. подавалась с делянки, при этом складированию не подвергалась. Длина подававшихся в барабан сортиментов составляла 1,2...1,8 м.

Производительность установки при переработке свежесрубленной хвойной древесины среднего диаметра 13 см составила 12,6 м<sup>3</sup>/ч в плотной мере при достижении степени окорки 95...98 %. Температура окружающего воздуха при этом составляла -4...-1 °С. Производительность установки при переработке свежесрубленной древесины берёзы среднего диаметра 15,8 см составила 12,6 м<sup>3</sup>/ч в плотной мере при достижении степени окорки 90...95 %. Температура окружающего воздуха при этом составляла -6...-1 °С. Качество вырабатываемой на установке щепы соответствовало требованиям, предъявляемым к щепе марки Ц2 [3]. Выход технологической щепы от объёма загружаемого сырья составил: для хвойных пород 70 %, для берёзы 67 %.

Наличие расположенных на внутренней поверхности барабана окорочных элементов в виде пирамид с пилообразными гранями-ножами и Н-образных ножей позволило увеличить степень окорки и поднять производительность барабана на 30...50 %, особенно в условиях отрицательных температур, но при этом возросло количество отходов (в виде лома балансов). При переработке берёзовых балансов доля отходов достигала 6,3 % от общего объёма переработанного сырья, при переработке хвойных балансов потери составляли 5,9 %.

Определённую ценность для обоснования конструкции корообдирочных барабанов представляют также результаты испытаний, выполненных в мае 1984 г. в производственных условиях ПО «Сыктывкарский ЛПК». Были проведены испытания корообдирочного барабана сухой окорки КБС-425. Средняя производительность барабана за время испытаний составила 115 м<sup>3</sup>/ч. Во время испытаний в барабан подавались осиновые балансы 4-го сорта по ГОСТ 9462-71 с примесью 5...10 % берёзовых. Максимальная производительность барабана за время испытаний составила 183 м<sup>3</sup>/ч при степени окорки 97,6 %, минимальная производительность барабана — 80 м<sup>3</sup>/ч при степени окорки 99,8 %. Минимальные потери древесины (4,5 %) имели место при максимальном заполнении барабана (производительность 183 м<sup>3</sup>/ч) и непрерывном режиме работы. Максимальные потери древесины (7,1 %) зафиксированы при низкой степени заполнения барабана (производительность 83 м<sup>3</sup>/ч) и «полупериодическом» режиме работы. Средняя степень окорки древесины за период испытаний составила: для осины 98,6 %; для берёзы, окариваемой в смеси с осиной (10 % берёзы, 90 % осины), 22,5 %.

По результатам испытаний были сделаны выводы: полученные при апробировании повышенные значения потерь древесины могут быть следствием её низкого качества, низкой степени заполнения барабана, а также установки внутри секций барабана дополнительных окорочных элементов (интенсификаторов). Лом в основном состоит из кусков расщеплённой или раздавленной древесины, при этом не менее 10 % от общего объёма лома составляют сколы от толстомерной здоровой древесины.

Результаты как производственных испытаний, так и математического моделирования указывают на необходимость разработки таких конструкций корообдирочных барабанов, которые обеспечивали бы требуемую интенсивность динамического воздействия на балансы при их соударениях с элементами корпуса барабана.

Одним из основных конструктивных параметров, оказывающих влияние на указанную интенсивность, является локальная и общая жёсткость взаимодействующих объектов. В частности, жёсткость объектов рассмотренной в статье системы зависит от диаметра барабана, толщины стенок обечайки, наличия перфорации, количества и расположения окорочных балок, бандажей, зубчатых венцов, интенсифицирующих элементов, а также от физико-механических свойств окашиваемой древесины и многих других факторов. Использование элементов, увеличивающих локальную жёсткость корпуса барабана, как было показано в этой статье, может приводить к росту потерь древесины. К такому же эффекту приводит снижение степени заполнения барабана [2].

С учётом представленных выше результатов, а также материалов ранее выполненных работ [2, 3, 17, 18, 13] разработанная методика математического моделирования динамического взаимодействия балансов, подвергаемых окорке в барабане, может быть рекомендована для использования при вариантном проектировании барабанов. Эта же методика позволяет прогнозировать эффективность работы оборудования при различных условиях эксплуатации и корректировать технологические параметры барабана.

Предлагаемая модель, построенная с использованием численных методов, позволяет находить решения достаточно широкого класса задач, связанных с исследованием технологических процессов и обоснованием параметров оборудования для очистки древесины.

Результаты расчёта по представленной методике могут быть использованы в целях прогнозирования степени очистки древесины в корообдирочном барабане, а также при обосновании рациональности степени заполнения барабана, скорости вращения, его диаметра и других технологических характеристик.

С использованием предлагаемой методики решены модельные задачи [15]. На основании полученных данных выявлены закономерности изменения сил контактного взаимодействия подвергаемых очистке брёвен в зависимости от их количества в барабане. Тем самым обеспечиваются новые возможности для повышения качества очистки древесины, выполнения условий ресурсосбережения и рационального природопользования. Однако остаётся актуальной комплексная проблема утилизации отходов переработки древесины [3, 14, 21]. Как следствие, необходимо продолжение исследований по разработке конкурентоспособных технических и технологических решений с учётом современных требований экологической безопасности [22], включая изучение вопросов рационального использования отходов заготовки и переработки древесины при лесовосстановлении [9, 23, 24, 25].

## Литература

1. Бидерман, В. Л. Теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. — Москва : Высш. шк., 1980. — 408 с.

2. *Васильев, С. Б.* Исследование закономерностей изменения силы соударений с целью снижения потерь при окорке древесины в барабане / С. Б. Васильев, Г. Н. Колесников, Ю. В. Никонова, М. И. Раковская // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. — 2008. — Вып. 185. — С. 195—202.
3. Влияние локальной жёсткости корпуса корообдирочного барабана на изменение силы соударений и величину потерь древесины / С. Б. Васильев, Г. Н. Колесников, Ю. В. Никонова, М. И. Раковская // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. — 2008. — № 4 (96). — С. 84—91.
4. ГОСТ 15815-83. Щепка технологическая. Технические условия (с изм. № 1, 2). Введён 24.08.83. — Москва : Изд-во стандартов, 1985. — 11 с.
5. ГОСТ 16483.25-73 Древесина. Метод определения модуля упругости при сжатии поперёк волокон (с изм. № 1). Постановление Госстандарта СССР от 20.11.1973 г. № 2528 ГОСТ от 20.11.1973 г. № 16483.25-73.
6. Особенности основных и вспомогательных технологических операций переработки древесины на щепу в дисковых рубительных машинах / Н. А. Доспехова, Г. Н. Колесников, С. Б. Васильев [и др.]. — Петрозаводск, 2015. — 88 с.
7. *Доспехова, Н. А.* Рациональное использование древесного сырья: некоторые новые технические и технологические решения [Электронный ресурс] / Н. А. Доспехова, М. И. Зайцева, Ю. В. Никонова // Современные научные исследования и инновации. — 2015. — № 1. — URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/01/45494>.
8. *Иванов, А. П.* Динамика систем с механическими соударениями / А. П. Иванов. — Москва, 1997. — 336 с.
9. *Зайцева, М. И.* Использование порубочных остатков для приготовления торфяных субстратов при выращивании сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой / М. И. Зайцева, Е. В. Робонен, Н. П. Чернобровкина // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. — 2010. — С. 4—8.
10. *Леонтьев, Н. Л.* Упругие деформации древесины / Н. Л. Леонтьев. — Ленинград : Гослесбумиздат, 1952. — 120 с.
11. *Никонова, Ю. В.* О численном моделировании технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане / Ю. В. Никонова // Современ. проблемы информатизации в проектировании и информ. системах : сб. тр. / под ред. О. Я. Кравца. — Воронеж : Науч. книга, 2008. — Вып. 13. — С. 423—426.
12. *Никонова, Ю. В.* Поперечная жёсткость круглых лесоматериалов: эксперименты и численное моделирование / Ю. В. Никонова, М. И. Раковская, К. Д. Рой // Учёные записки Петрозаводского государственного университета Серия: Естественные и технические науки. — 2012. — Т. 2. — № 8. — С. 69—72.
13. *Никонова, Ю. В.* Влияние степени заполнения корообдирочного барабана на характеристики контактного взаимодействия балансов [Электронный ресурс] / Ю. В. Никонова, И. В. Симонова // Resources and Technology. — Петрозаводск, 2016. — № 13 (3). — С. 57—62. — ISSN 2307-0048.
14. *Никонова, Ю. В.* Очистка круглых лесоматериалов в корообдирочных барабанах: эволюция технологий и оборудования / Ю. В. Никонова // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии : сб. статей по материалам Международной научно-практической конференции. — Петрозаводск, 2016. — Вып. 100. — С. 50—53. — ISBN 978-5-8430-01154-4.
15. Обзор исследований окорки древесины [Электронный ресурс] / Ю. В. Никонова, М. И. Раковская, Н. А. Доспехова, М. И. Зайцева // Resources and Technology. —

- Петрозаводск, 2014. — С. 11—49. — URL: [http://rt.petsru.ru/journal/content\\_list.php?id=59761](http://rt.petsru.ru/journal/content_list.php?id=59761). — ISSN 2307-0048.
16. *Пфайффер, Ф.* Контакты в системах твёрдых тел / Ф. Пфайффер, К. Глоккер // Прикладная математика и механика. — 2000. — Т. 61, вып. 5. — С. 805—816.
  17. *Васильев, С. Б.* Численное моделирование взаимодействия еловых балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане / С. Б. Васильев, Н. А. Доспехова, Г. Н. Колесников // Resources and Technology. — 2013. — Т. 10. — № 1. — С. 24—38.
  18. *Раковская, М. И.* Численное моделирование и определение сил контактного взаимодействия длинномерных сортиментов в корообдирочном барабане / М. И. Раковская, Ю. В. Никонова // Системы управления и информационные технологии. — Воронеж : Научная книга, 2008. — № 1.3 (31). — С. 397—401.
  19. *Колесников, Г. Н.* Алгоритм декомпозиции линейной задачи дополнительности и его применение для моделирования соударений балансов в корообдирочном барабане / Г. Н. Колесников // Resources and Technology. — 2013. — Т. 10. — № 2. — С. 111—138.
  20. *Baroth, R.* Literature review of latest development of wood debarking / R. Baroth // University of Oulu, Control Engineering Laboratory. — Report A № 27, 2005. — 29 p.
  21. *Васильев, С. Б.* Модуль рольганга с технологической функцией интенсификации выделения короткомеров из потока балансов / С. Б. Васильев, Н. А. Доспехова, Г. Н. Колесников // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. — 2013. — № 9. — С. 145—149.
  22. *Колесников, Г. Н.* Закономерности соударений и качество очистки балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане / Г. Н. Колесников, Н. А. Доспехова // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10—15. — С. 3328—3331.
  23. Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу / Е. В. Робонен, М. И. Зайцева, Н. П. Чернобровкина, О. В. Чернышенко, С. Б. Васильев // Resources and Technology. — 2015. — Т. 12. — № 1. — С. 47—76.
  24. Использование плавленого фосфорно-магниевого удобрения ПФМУ-2 при выращивании семян хвойных пород с закрытой корневой системой / Е. В. Робонен, М. И. Зайцева, Н. П. Чернобровкина, Г. А. Лебедева, Г. П. Озерова // Лесной вестник. Forestry Bulletin. — 2006. — № 6. — С. 34—37.
  25. *Зайцева, М. И.* Обоснование новой технологии переработки порубочных остатков в компонент субстрата для выращивания семян с закрытой корневой системой : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. И. Зайцева; Петрозаводский государственный университет. — Петрозаводск, 2010. — 17 с.

## References

1. *Biderman, V. L.* Teoriya mekhanicheskikh kolebanij / V. L. Biderman. — Moskva : Vyssh. shk., 1980. — 408 s.
2. *Vasil'ev, S. B.* Issledovanie zakonornostej izmeneniya sily soudarenij s cel'yu snizheniya poter' pri okorke drevesiny v barabane / S. B. Vasil'ev, G. N. Kolesnikov, YU. V. Nikonova, M. I. Rakovskaya // Izv. S.-Peterb. lesotekhn. akad. — 2008. — Vyp. 185. — S. 195—202.
3. Vliyanie lokal'noj zhestkosti korpusa koroobdirochnogo barabana na izmenenie sily soudarenij i velichinu poter' drevesiny / S. B. Vasil'ev, G. N. Kolesnikov, YU. V. Nikonova,

- M. I. Rakovskaya // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. — 2008. — № 4 (96). — S. 84—91.
4. GOST 15815-83. SHCHepa tekhnologicheskaya. Tekhnicheskie usloviya (s izm. № 1, 2) Vved. 24.08.83. — Moskva : Izd-vo standartov, 1985. — 11 s.
  5. GOST 16483.25-73 Drevesina. Metod opredeleniya modulya uprugosti pri szhatii poperek volokon (s izm. № 1). Postanovlenie Gosstandarta SSSR ot 20.11.1973 № 2528 GOST ot 20.11.1973 № 16483.25-73.
  6. Osobennosti osnovnyh i vspomogatel'nyh tekhnologicheskikh operacij pererabotki drevesiny na shchepu v diskovyh rubitel'nyh mashinah / N. A. Dospekhova, G. N. Kolesnikov, S. B. Vasil'ev [i dr.]. — 2015. — 88 s.
  7. *Dospekhova, N. A.* Racional'noe ispol'zovanie drevesnogo syr'ya: nekotorye novye tekhnicheskie i tekhnologicheskie resheniya [EHlektronnyj resurs] / N. A. Dospekhova, M. I. Zajceva, YU. V. Nikonova // *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. — 2015. — № 1. — URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/01/45494>.
  8. *Ivanov, A. P.* Dinamika sistem s mekhanicheskimi soudareniyami / A. P. Ivanov. — Moskva, 1997. — 336 s.
  9. *Zajceva, M. I.* Ispol'zovanie porubochnyh ostatkov dlya prigotovleniya torfyanyh substratov pri vyrashchivanii seyancev sosny obyknovЕННОj s zakrytoj kornevoj sistemoj / M. I. Zajceva, E. V. Robonen, N. P. CHernobrovkina // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoj vestnik*. — 2010. — S. 4—8.
  10. *Leont'ev, N. L.* Uprugie deformacii drevesiny / N. L. Leont'ev // Leningrad : Goslesbumizdat, 1952. — 120 s.
  11. *Nikonova, YU. V.* O chislennom modelirovanii tekhnologicheskogo processa ochistki drevesiny v koroobdirochnom barabane / YU. V. Nikonova // *Sovrem. probl. informatizacii v proektirovanii i inform. Sistemah : sb. tr. / pod red. O. YA. Kravca*. — Voronezh : Nauch. kniga, 2008. — Vyp. 13. — S. 423—426.
  12. *Nikonova, YU. V.* Poperechnaya zhestkost' kruglyh lesomaterialov: ehksperimenty i chislennoe modelirovanie / YU. V. Nikonova, M. I. Rakovskaya, K. D. Roj // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. — 2012. — T. 2. — № 8. — S. 69—72.
  13. *Nikonova, YU. V.* Vliyanie stepeni zapolneniya koroobdirochnogo barabana na harakteristiki kontaktnogo vzaimodejstviya balansov [EHlektronnyj resurs] / YU. V. Nikonova, I. V. Simonova // *Resources and Technology*. — Petrozavodsk, 2016. — № 13 (3). — S. 57—62. — ISSN 2307-0048.
  14. *Nikonova, YU. V.* Ochistka kruglyh lesomaterialov v koroobdirochnykh barabanah: ehvolyuciya tekhnologij i oborudovaniya / YU. V. Nikonova // *Derevyannoe malohtazhnoe domostroenie: ehkonomika, arhitektura i resursosberegayushchie tekhnologii. Sbornik statej po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. — Petrozavodsk, 2016. — Vyp. 100. — S. 50—53. — ISBN 978-5-8430-01154-4.
  15. Obzor issledovanij okorki drevesiny [EHlektronnyj resurs] / YU. V. Nikonova, M. I. Rakovskaya, N. A. Dospekhova, M. I. Zajceva // *Resources and Technology*. — Petrozavodsk, 2014. — S. 11—49. — URL: [http://rt.petsu.ru/journal/content\\_list.php?id=59761](http://rt.petsu.ru/journal/content_list.php?id=59761). — ISSN 2307-0048.
  16. *Pfajffer, F.* Kontakty v sistemah tverdyh tel / F. Pfajffer, K. Glokker // *Prikladnaya matematika i mekhanika*. — 2000. — T. 61, vyp. 5. — S. 805—816.
  17. *Vasil'ev, S. B.* CHislennoe modelirovanie vzaimodejstviya elovyh balansov neodinakovogo diametra v koroobdirochnom barabane / S. B. Vasil'ev, N. A. Dospekhova, G. N. Kolesnikov // *Resources and Technology*. — 2013. — T. 10. — № 1. — S. 24—38.

18. *Rakovskaya, M. I.* CHislennoe modelirovanie i opredelenie sil kontaktного vzaimodejstviya dlinnomernyh sortimentov v koroobdirochnom barabane / M. I. Rakovskaya, YU. V. Nikonova // *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*. — Voronezh : Nauchnaya kniga, 2008. — № 1.3 (31). — S. 397—401.
19. *Kolesnikov, G. N.* Algoritm dekompozicii linejnoj zadachi dopolnitel'nosti i ego primenenie dlya modelirovaniya soudarenij balansov v koroobdirochnom barabane / G. N. KOLESNIKOV // *Resources and Technology*. — 2013. — T. 10. — № 2. — S. 111—138.
20. *Baroth, R.* Literature review of latest development of wood debarking / R. Baroth // University of Oulu, Control Engineering Laboratory. — Report A № 27, 2005. — 29 p
21. *Vasil'ev, S. B.* Modul' rol'ganga s tekhnologicheskoj funkciej intensivifikacii vydeleniya korotkomerov iz potoka balansov / S. B. Vasil'ev, N. A. Dospekhova, G. N. Kolesnikov // *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty*. — 2013. — № 9. — S. 145—149.
22. *Kolesnikov, G. N.* Zakonomernosti soudarenij i kachestvo ochistki balansov neodinakovogo diametra v koroobdirochnom barabane / G. N. Kolesnikov, N. A. Dospekhova // *Fundamental'nye issledovaniya*. — 2013. — № 10—15. — S. 3328—3331.
23. Opyt razrabotki i ispol'zovaniya kontejnernih substratov dlya lesnyh pitomnikov. Al'ternativy torfu / E. V. Robonen, M. I. Zajceva, N. P. Chernobrovkina, O. V. Chernyshenko, S. B. Vasil'ev // *Resources and Technology*. — 2015. — T. 12. — № 1. — S. 47—76.
24. Ispol'zovanie plavlenogo fosforno-magnievogo udobreniya PFMU-2 pri vyrashchivanii seyancev hvojnyh porod s zakrytoj kornevoj sistemoj / E. V. Robonen, M. I. Zajceva, N. P. Chernobrovkina, G. A. Lebedeva, G. P. Ozerova // *Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin*. — 2006. — № 6. — S. 34—37.
25. *Zajceva, M. I.* Oobosnovanie novej tekhnologii pererabotki porubochnyh ostatkov v komponent substrata dlya vyrashchivaniya seyancev s zakrytoj kornevoj sistemoj : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / M. I. Zajceva; Petrozavodskij gosudarstvennyj universitet. — Petrozavodsk, 2010. — 17 s.