

На правах рукописи



КРИВОНОГОВА АЛЕКСАНДРА СТАНИСЛАВОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ
ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЯ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА**

05.21.01. – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Научный руководитель: Бирман Алексей Романович,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Шамаев Владимир Александрович,
доктор технических наук, профессор
кафедры древесиноведения
ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный лесотехнический
университет им. Г.Ф. Морозова»

Васильев Алексей Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры технологии и организации
лесного комплекса
ФГБОУ ВПО «Петрозаводский
государственный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет леса»

Защита состоится «18» июня 2015 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.220.03 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

(194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, главное здание, зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте www.spbftu.ru ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова».

Автореферат разослан « » 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного Совета



Алексей Романович Бирман

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Перед лесопромышленным комплексом остро стоит задача расширения объёмов переработки древесины мягких лиственных пород. Одним из направлений её решения является модификация такой древесины путём уплотнения в условиях лесопромышленных складов. При этом степень уплотнения исходной древесины должна быть достаточной для замещения модифицированной древесиной мягких лиственных пород древесины твёрдых лиственных пород, запасы которой в Российской Федерации крайне ограничены.

Одним из вариантов использования уплотнённой древесины мягких лиственных пород, и прежде всего осины, является расширение сырьевой базы производства качественного древесного угля, основные объёмы которого в настоящее время экспортируются из дальнего зарубежья.

Древесный уголь широко используется (миллионы тонн) в производстве цветных металлов, ферросплавов, для очистки сахара и т.д. Но важнейшей областью его применения является сорбция загрязнений, содержащихся в промышленных и сточных водах. Это направление использования древесноугольных материалов наиболее важно в связи с всё более сложной экологической обстановкой водных акваторий страны.

Учитывая вышеизложенное, а также то, что процессы модификации древесины мягких лиственных пород глубоким уплотнением изучены недостаточно, необходимы дальнейшие их исследования, а также проведение исследований, направленных на повышение сорбционной способности древесных углей, полученных из дешёвой исходной древесины мягких лиственных пород, с доведением их показателей до уровня равного или превосходящего показатели сорбентов, полученных из дефицитной древесины твёрдых лиственных пород.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами модификации древесины пропиткой и уплотнением, а также получением сорбентов из древесного угля занимались российские учёные: С.М. Базаров, А.Р. Бирман, В.В. Денисенко, О.А. Куницкая, А.А. Новолокин, В.И. Пятакин, В.Н. Пиялкин, В.В. Сергеевичев, Б.Н. Уголев П.Н. Хухрянский, В.А. Шамаев, И.Р. Шегельман, Ю.Л. Юрьев, В.М. Ягодин и др.

Выполненные исследования позволили обосновать параметры процесса модификации древесины мягких лиственных пород, определить основные направления совершенствования производства древесных углей.

Перспективным направлением является применение древесного угля в качестве сорбента для очистки промышленных и сточных вод, при этом сырьевой базой производства должны служить запасы малоиспользуемой древесины осины.

Результаты исследований могут быть внедрены на предприятиях по производству древесного угля, в отраслях, отвечающих за экологию водных акваторий, а также использованы в учебном процессе.

Цель работы – вовлечение в переработку древесины мягких лиственных пород для расширения сырьевой базы производства качественного древесного угля.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины за счёт пьезотермической обработки.
2. Произвести анализ явлений, происходящих в древесине в процессе её модификации и оценить влияние определяющих факторов процесса на свойства конечного продукта.
3. Разработать математическую модель процесса модификации капиллярно-пористых структур пропиткой.
4. Разработать оборудование и оснастку для организации участка по производству образцов уплотнённой и/или пропитанной древесины.
5. Исследовать сорбционные свойства древесных углей. Получить кинетические характеристики сорбционного процесса.
6. Оценить экономический эффект предлагаемых технических решений.

Научная новизна:

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена методика статистического анализа закономерности изменения физико-механических характеристик уплотняемой древесины.
2. Обоснованы критерии эффективности процесса уплотнения древесины мягких лиственных пород, определяющие направления и экономическую целесообразность использования модифицированной древесины.
3. Сформулированы, обоснованы и математически описаны основные закономерности процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами, отличающиеся учётом особенностей порового пространства древесных материалов.
4. Проведены исследования, результаты которых подтверждают высокую сорбционную способность древесных углей из модифицированной древесины по отношению к ионам тяжёлых металлов и бензола в водных средах.

Теоретическая значимость. Математические модели процессов обработки древесных материалов позволяют оптимизировать технологические режимы модифицирования исходной древесины мягких лиственных пород и расширить области её применения, развивают теорию процесса пропитки капиллярно-пористых структур, определяют закономерности из-

менения физико-механических характеристик древесины глубокого уплотнения, позволяют обосновать критерии, определяющие экономическую целесообразность использования модифицированной древесины мягких лиственных пород.

Практическая значимость. Полученные результаты исследований могут быть использованы в работе специалистов деревообрабатывающих производств при управлении технологическими процессами. Разработанная методика статистического анализа степени уплотнения древесины позволяет обосновать выбор параметров технологического процесса. Результаты экспериментальных исследований по оценке сорбционной способности древесных углей из модифицированной древесины позволяют определить тип сорбента для различных видов загрязнений промышленных и сточных вод, а предлагаемые технологии и оборудование для производства древесноугольных сорбентов из древесины мягких лиственных пород – повысить их качество.

Методология и методы исследования. Исследования базировались на принципах системного подхода с использованием обоснованных методов и методик научного поиска, современных средств научного проникновения, применении современных методов исследований с привлечением персонала и оборудования независимых лабораторий, с использованием поверенных оборудования, приборов и средств контроля. Информационную базу исследования составляют материалы научных исследований, научная, учебная и методическая литература, материалы периодических изданий, патентная информация, сведения из сети Интернет

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Древесина мягких лиственных пород пригодна для организации производства высококачественного древесного угля путём модификации исходного сырья.
2. При уплотнении свежесрубленной древесины снижается коэффициент внутреннего трения при пьезообработке за счёт влияния влаги как мицеллярной смазки.
3. Модификация исходной древесины МЛП, например осины, глубоким уплотнением (до степени уплотнения $\epsilon=0,75$) улучшает сорбционные свойства конечного продукта – древесного угля – по отношению к ионам тяжёлых металлов и бензола по сравнению с древесным углём из древесины ТЛП, например дуба.
4. Наиболее интенсивное поглощение пропиточной жидкости древесными углями при встречно-центробежном способе пропитки происходит в относительно короткий начальный период обработки, что позволяет сделать предположение о нецелесообразности длительной пропитки в поле центробежных сил.
5. Сорбционная способность древесных углей, полученных из исходной древесины МЛП, избирательна по отношению к ионам бензола и

тяжёлых металлов в водных средах. При сорбции свинца лучшие показатели имеют древесные угли, полученные из уплотнённой древесины осины. При сорбции бензола лучшие показатели имеют окисленные пропиткой древесные угли из натуральной осины.

Степень достоверности. Достоверность научных положений, выводов и результатов исследований обеспечена: применением современных методов и средств научного проникновения, обоснованными упрощениями и допущениями при разработке моделей процессов и явлений, приемлемым совпадением результатов теоретических исследований с опытными данными, полученными при экспериментальных испытаниях.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на НТК по итогам НИР СПбГЛТУ (СПб., 2012-2015); на МНПК: «Современные проблемы переработки древесины» (СПб., 2014-2015), XI mezinárodní vědecko-praktická conference «Věda a technologie: krok do budoucnosti» (Praha, 2015), XI International scientific and practical conference «Modern scientific potential», (Sheffield, 2015), «ЛК России: актуальные проблемы и стратегии развития» (Воронеж, 2015); на МНТК: «Техника и технологии – мост в будущее» (Воронеж, 2014), «Актуальные проблемы развития ЛК» (Вологда, 2014), «Обеспечение экологической безопасности путём создания наукоёмких технических средств и технологий в ЛК» (Воронеж, 2015), «ЛК России: актуальные проблемы и стратегии развития» (Воронеж, 2015), на Всероссийской молодёжной НПК «Исследования молодёжи – экономике, производству, образованию» (Сыктывкар, 2012-2015).

Работа выполнена в рамках научной школой «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства», которая включена в реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга.

Публикации. По результатам исследований автором опубликовано 20 печатных работ, в том числе 5 статей в журналах, рецензируемых ВАК.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и приложения.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует пункту 7 – «Разработка технологий и систем машин, обеспечивающих комплексное использование древесного сырья и отходов в технологических и энергетических целях» паспорта научной специальности 05.21.01 – «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определена цель исследований, отмечена научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан анализ современного состояния техники и технологии производства древесного угля. Ранее проведённые исследования показывают, что для производства древесного угля пригодна древесина практически любых пород. Но для получения качественных древесных углей используется древесина твёрдых лиственных пород, запасы которой крайне ограничены.

Создание дополнительной, а в перспективе – основной сырьевой базы для производства древесного угля марки А без значительных затрат возможно за счёт использования модифицированной древесины МЛП.

В случае, когда производство древесного угля осуществляется в условиях лесозаготовительных предприятий, где пластификация и сушка древесины затруднены, для обеспечения прессования заготовок из свежесрубленной древесины разработаны способы уплотнения с использованием механических колебаний. На основании исследования, проведённые С.М. Базаровым и А.А. Новолокиным, можно утверждать, что влага в древесине выполняет роль мицеллярной смазки, оказывая влияние на снижение коэффициента внутреннего трения древесины.

Наложение ультразвуковых колебаний на древесину оказывает пластифицирующее воздействие. Причём это воздействие тем значительнее, чем более увлажнена древесина.

В работах Р.В. Юдина показано, что применение направленных вибраций специально подобранной частоты и амплитуды улучшает качество уплотняемой древесины, способствует интенсификации технологического процесса.

Значительное потребление древесного угля характерно для направления, предусматривающего очистку природных и сточных промышленных вод. Древесный уголь поглощает бактериальные яды, адсорбирует ионы тяжёлых металлов, ароматические углеводороды. Сорбционная способность древесных углей, полученных из модифицированной древесины, требует подтверждения и исследований процесса очистки водных сред от ионов тяжёлых металлов и бензола.

Во второй главе диссертации представлены методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотнения древесины, математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида (H_2O_2). Методика статистического анализа базировалась на выявлении параметров функциональных взаимосвязей физико-механических характеристик уплотнённой древесины от её плотности.

В качестве исходных были приняты аппроксимирующие зависимости физико-механических характеристик от плотности. Вид зависимостей был установлен при систематизации большого объёма известных экспериментальных данных.

Результаты исследований по разработанной методике позволили сделать обоснованные выводы об улучшении физико-механических свойств древесины и технической целесообразности уплотнения.

Статистический анализ показывает, что лиственная древесина с малым удельным весом, и прежде всего осина, является наиболее благоприятным сырьём для уплотнения с точки зрения достижения улучшения таких характеристик, как прочность, износостойкость и сопротивляемость поперечному изгибу.

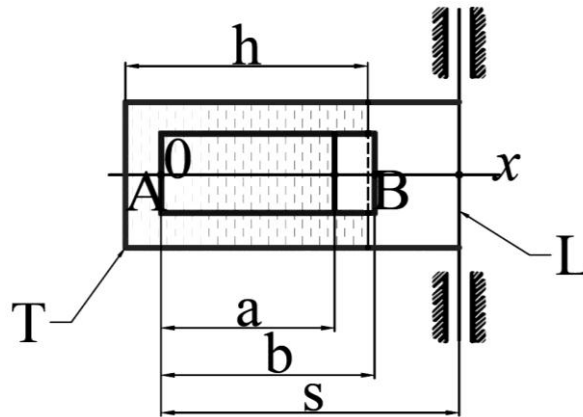


Рис. 1. Схема пропитки образца встречным способом в поле центробежных сил. Т – цилиндр, наполненный жидкостью, вращающийся вокруг оси L.

Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористой структуры в поле центробежных сил встречно-центробежным способом построена при следующих допущениях:

Стержень КПС и жидкость несжимаемы, продольная фильтрация в стержне подчиняется закону Дарси:

$$v(x,t) = -K \frac{dH}{dx}, \quad H(x,t) = u(x,t) - \frac{1}{2} \rho \omega^2 (a-x)(2s-a-x) \quad (1)$$

где k – коэффициент продольной фильтрации; $H(x,t)$ – гидравлический напор; x – продольная координата, начало которой $x=0$ совпадает с точкой А; $u(x,t)$ – поровое давление в образце; ρ – плотность жидкости; ω – угловая скорость вращения; s – расстояние от точки А до оси L; v – скорость фильтрующейся поровой жидкости в направлении x ; a – текущая координата; b – длина стержня AB.

Начальные условия: в момент времени $t=0$ образец полностью обезвожен и возникает центробежное поле давлений $\frac{1}{2} \rho \omega^2 \cdot (h-x) \cdot (2s-h-x)$. За время t уровень полной пропитки образца достигает сечения $x=a$, поэтому

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \alpha^2 H = q, \quad x \in (0,a) \quad q = -\frac{1}{2} \alpha^2 \rho \omega^2 \cdot (a-h) \cdot (2s-a-h), \quad a \leq h \leq s \quad (2)$$

$$H = \rho \omega^2 \cdot (h-a) \cdot (2s-h-a) \cdot \left[\frac{1/2 - e^{-\alpha a}}{2sh\alpha a} \cdot sh\alpha x + \frac{1}{e^{\alpha x}} - \frac{1}{2} \right] + \frac{P_a sh\alpha x}{2sh\alpha x} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
v(a,t) &= -K\alpha R(a), \\
R(a) &= P_a + \left(\frac{1}{2} - e^{-\alpha a}\right) \cdot \rho\omega^2(h-a) \cdot (2s-h-a) \times \\
&\times \operatorname{cth}\alpha a - e^{-\alpha a} \rho\omega^2(h-a) \cdot (2s-h-a)
\end{aligned} \tag{4}$$

Общее решение дифференциального уравнения (4) имеет вид

$$H = Ae^{\alpha x} + Be^{-\alpha x} + H_* \quad H_* = \frac{1}{2} \rho\omega^2(a-h) \cdot (2s-a-h) \tag{5}$$

Для вычисления произвольных постоянных А и В воспользуемся граничными условиями, из которых, с учётом (1), следует

$$H(0,t) = \frac{1}{2} \rho\omega^2(a-h) \cdot (2s-a-h) \quad H(a,t) = P_a \tag{5}$$

Разделяя переменные, интегрируя и учитывая начальное условие $a(0)=0$, получим

$$\int_0^a \frac{d\varphi}{R(\varphi)} = -K\alpha t, \quad t = -\frac{1}{K\alpha} \int_0^a \frac{d\varphi}{R(\varphi)} \tag{6}$$

Этот интеграл в общем случае в элементарных функциях не берётся, но при любых данных параметров $\alpha, k, \omega, \rho, P_a, s, h$ и a вычисляется при помощи ЭВМ.

Если боковая пропитка слабая, то коэффициентом α можно пренебречь. Тогда уравнение (3) упрощается

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 H}{dx^2} &= 0, \quad H = Ax + B \\
A &= a^{-1} \left[P_a - \frac{1}{2} \rho\omega^2(h-a)(2s-h-a) \right], \quad B = \frac{1}{2} \rho\omega^2(h-a)(2s-h-a)
\end{aligned} \tag{7}$$

Его решение с учётом прежних граничных условий принимает вид

$$H(x,t) = \frac{1}{2} \rho\omega^2(h-a)(2s-h-a) \left(1 - \frac{x}{a}\right) + P_a \frac{x}{a} \tag{8}$$

Скорость пропитки выражается формулой

$$\frac{da}{dt} = \frac{k}{a} \left[\frac{1}{2} \rho\omega^2(h-a)(2s-h-a) - P_a \right] \tag{9}$$

Подставив (7) в (8) получим

$$\begin{aligned}
A &= \frac{1}{2sh\alpha a} \left[\rho\omega^2 \cdot (h-a) \cdot (2s-h-a) \cdot \left(\frac{1}{2} - e^{-\alpha a}\right) + P_a \right] \\
B &= \rho\omega^2 \cdot (h-a) \cdot (2s-h-a) \cdot \left[1 - \frac{1/2 - e^{-\alpha a}}{2sh\alpha a} \right] - \frac{P_a}{2sh\alpha a}
\end{aligned} \tag{10}$$

Коэффициент фильтрации k можно найти экспериментально. Для этого в формулу (11) нужно подставить величины ρ , ω , t , s , a .

$$k = \frac{2}{\rho\omega^2 t} \left[\ln \frac{s-a}{s} + \frac{a}{s-a} \right], \quad h = s \quad (11)$$

Определение величины a опытным путём достаточно сложно. Для практики можно предложить методику замеров расходов пропитывающей жидкости.

Отсюда следует, что она максимальна при $a=0$ в начале процесса и при $P_a=0$ обращается в нуль, если $h=a$. Таким образом, неэффективна пропитка сортиментов, длина которых близка к радиусу платформы центрифуги.

Тогда при $h=s$

$$t = \frac{2}{k\rho\omega^2} \int \frac{ada}{(s-a)^2} = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\ln(s-a) + \frac{s}{s-a} \right] + c \quad (12)$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{2}{k\rho\omega^2} \int \frac{ada}{(h-a)(2s-h-a)} = \\ \text{При } h < s: &= \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{2s-h}{2(s-h)} \ln(2s-h-a) - \frac{h}{2(s-h)} \ln(h-a) \right] + c \end{aligned} \quad (13)$$

Из условия $a=0$ при $t=0$ следует, что

$$\begin{aligned} c &= -2(k\rho\omega^2)^{-1} (\ln s + 1), \quad h = s \\ c &= \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{h}{2(s-h)} \ln h - \frac{2s-h}{2(s-h)} \ln(2s-h) \right], \quad h < s \end{aligned} \quad (14)$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} t &= 2(k\rho\omega^2)^{-1} \left[\ln(s-a)s^{-1} + a(s-a)^{-1} \right], \quad h = s \\ t &= \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{2s-h}{2(s-h)} \ln \frac{2s-h-a}{2s-h} - \frac{h}{2(s-h)} \ln \frac{h-a}{h} \right], \quad h < s \end{aligned} \quad (15)$$

В третьей главе «Аппаратура и методика экспериментальных исследований» рассматриваются направления исследований, методика проведения экспериментов и обработка их результатов.

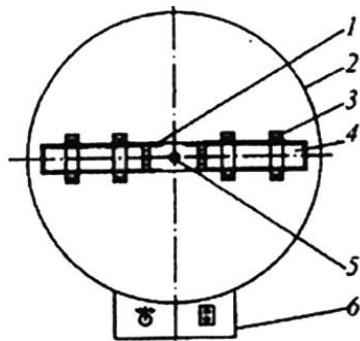


Рис. 2. Экспериментальная установка:

- 1 – балка;
- 2 – корпус;
- 3 – крепёжные полукольца;
- 4 – стакан;
- 5 – ось вращения;
- 6 – пульт управления.

При планировании экспериментов по пропитке капиллярно-пористых структур установлены контролируемые и управляемые независимые параметры. Основной объём исследований по пропитке выполнен на базе центрифуги, рис. 2, с использованием двух пород исходной древесины – осины и дуба.

Исследования сорбционных свойств образцов древесного угля по отношению к ионам свинца и бензолу проводились в Центре исследования и контроля воды (Санкт-Петербург) с использованием метода атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре IRIS Intrepid II XDL Duo фирмы Thermo Jarrell Ash и были оформлены в виде официальных актов испытаний.

В четвёртой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты экспериментов: по получению образцов древесины со степенью уплотнения $\epsilon=0.75$; по определению режимов сквозной, равномерной по поперечному сечению пропитки в поле центробежных сил; по определению сорбционной способности древесного угля из исходной древесины дуба и осины.

Для обеспечения прессования заготовок из свежесрубленной древесины без её предварительной пластификации нами предлагается способ глубокого уплотнения древесины за счёт совместного действия акустических колебаний и механического давления. Глубокое уплотнение древесины способствует созданию равномерно пористой микроструктуры. Силовое воздействие на древесину вскрывает «глухие» микропоры и компенсирует природный градиент плотности.

Модификация исходной древесины путём уплотнения способствует устранению механических повреждений структуры древесного угля.

Для проведения эксперимента нами была изготовлена пресс-форма (виброэкструдер) для осуществления контурного уплотнения образцов с размерами: длина 60 мм, диаметр 50 мм. Параметры акустического поля были использованы в соответствии с работами Базарова С.М., Сугаипова У.У. и Ховарда Метти.

Виброэкструдер для изготовления цилиндрических образцов уплотнённой древесины представлен на рис. 3.

В прессовый канал экструдера закладывался образец 2 из натуральной древесины. Пресс-форма подвергалась воздействию акустического поля (в течение всего периода процесса прессования), передаваемого от генератора через магнитостриктеры 4. Пуансон 1, установленный на штоке пресса, совершал рабочий ход и продвигал образец в канал 3 экструдера, выполненный в виде усечённого конуса с наклоном образующей 18° , на глубину 60 мм (высота образца).

После подъёма пуансона 1 в исходное положение в пресс-форму загружался следующий образец и так же, за счёт силового воздействия, продвигался в канале экструдера на глубину 60 мм. Длина канала экструдера

составляла 180 мм при максимальном диаметре конуса 50 мм и минимальном – 29 мм.

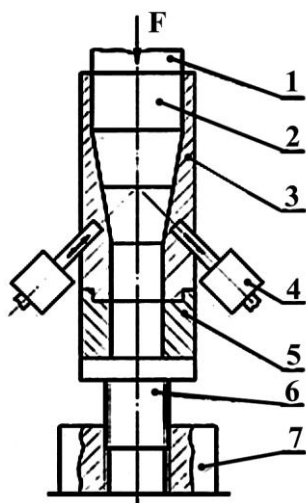


Рис. 3. Устройство для контурного прессования древесины:

- 1 – пуансон,
- 2 – образец,
- 3 – пресс-форма,
- 4 – магнитостриктер,
- 5 – стакан,
- 6 – подвижная опора,
- 7 – станина.

После загрузки четырёх образцов первый из них выталкивался из канала экструдера и попадал в съёмный стакан 5 с внутренним диаметром 29 мм, удерживаемый в контакте с экструдером подъёмным винтом 6. Винт 6 размещался в корпусе 7, установленном на станине пресса. При этом между винтом и стаканом устанавливались стальные шары диаметром 15 мм в количестве 10 шт., которые являлись акустическим демпфером между экструдером и металлоконструкцией пресса. После выдержки съёмного стакана, с находящимся в нем образцом уплотнённой древесины, в термокамере влажность образцов снижалась до величины 4,0-7 % и они свободно извлекались из полости приёмного стакана.

При проведении работ выявлено, что при попытках уплотнения древесины при выключенном акустическом поле резко возрастает сила трения между наружной поверхностью образцов и внутренней поверхностью конуса экструдера.

Для испытаний сорбционных свойств были изготовлены образцы древесного угля, полученного из древесины: осины натуральной, образец №1; осины уплотнённой до степени уплотнения $\varepsilon=0.75$, образец №2; дуба натурального, образец №3. Результаты исследования получены в Центре исследования качества воды на модельном водном растворе нитрата свинца $Pb(NO_3)_2$.

Для оценки и сравнения интенсивности процесса адсорбции различными образцами древесного угля введём коэффициент адсорбции K .

$$K = \frac{K_{нач}}{K_i}, \quad (16)$$

где $K_{нач}$, K_i – начальная и текущая концентрация ионов свинца.

Расчётные значения коэффициентов K сведены в табл. 1.

Значения коэффициента адсорбции K

Образец	Время после начала адсорбции, мин					
	0	5	10	30	60	120
№1	1	15,7	18,3	32,4	34,3	6,7
№2	1	47,3	47,3	47,3	47,3	47,3
№3	1	1,8	3,0	-	4,2	5,0

Образцы: №1-уголь из древесины осины натуральной; №2-уголь из древесины осины, со степенью уплотнения $\varepsilon=0.75$; №3-уголь из древесины дуба натурального.

По данным табл. 1 построен график, представленный на рис.4.

Общий анализ данных таблиц и графика позволяет сделать следующие выводы: наибольшей сорбирующей способностью обладают образцы древесного угля, полученного из древесины осины уплотнённой, которые поглощают в первые 3 мин до 95% ионов свинца и продолжают поддерживать процесс сорбции в последующее время. Эффективность такого сорбента в 11 раз выше эффективности сорбента из дубового древесного угля.

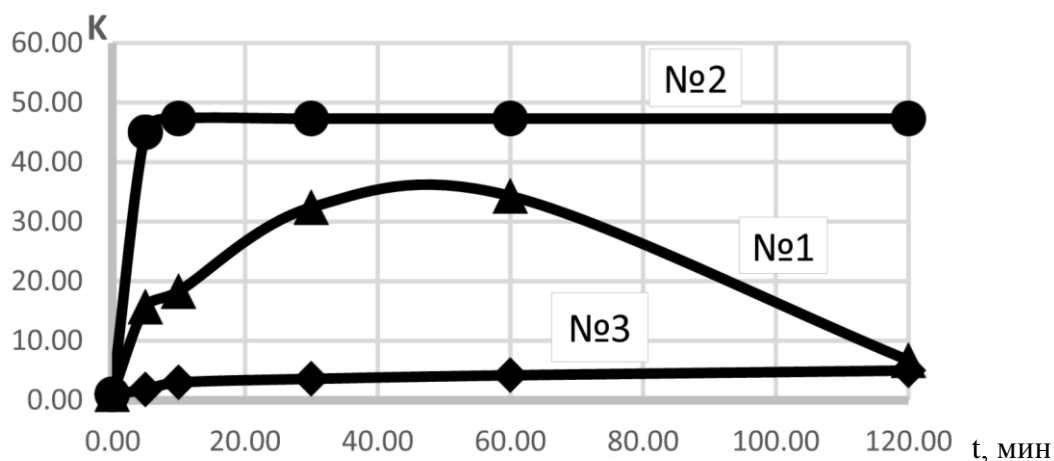


Рис. 4. Зависимость изменения от времени коэффициента адсорбции K :
1 - образец №1; 2 - образец №2; 3 - образец №3

Эксперименты, позволяющие оценить сорбционные свойства древесного угля по отношению к бензолу, проводились путём пропитки (окисления) конечного продукта раствором пероксида (H_2O_2) на центрифуге.

Коэффициент снижения концентрации (N) бензола (C_6H_6) в модельном растворе определяется по формуле:
$$N = \frac{K_{нач}}{K_{конеч.}}, \quad (17)$$

где $K_{нач.}$ и $K_{конеч.}$ – соответственно, начальная и конечная концентрация бензола.

Таблица 2

Величина значений коэффициента снижения концентрации N

№	Образцы	Продолжительность контакта, мин.				
		0	5	10	30	60
1	Образец №1	1	3,0	7,0	15,5	30
1	Образец №2	1	1,5	4,5	7,5	10,0
2	Образец №3	1	27,5	44,0	55,0	122,2
3	Образец №4	1	17,5	70,0	77,7	140,0

Образцы: №1-уголь из древесины дуба натурального; №2-уголь из древесины осины натуральной; №3-уголь из древесины дуба, обработанный H_2O_2 ; №4- уголь из древесины осины, обработанный H_2O_2 .

По результатам анализа данных табл. 2 можно заключить, что наиболее эффективный древесный уголь исследуемой группы – это уголь из древесины осины натуральной, обработанный H_2O_2 . Полученный древесный уголь поглощает почти 90% бензола в течение 5 мин и продолжает поддерживать или улучшать эти характеристики в последующее время (до 60 мин.), рис. 5.

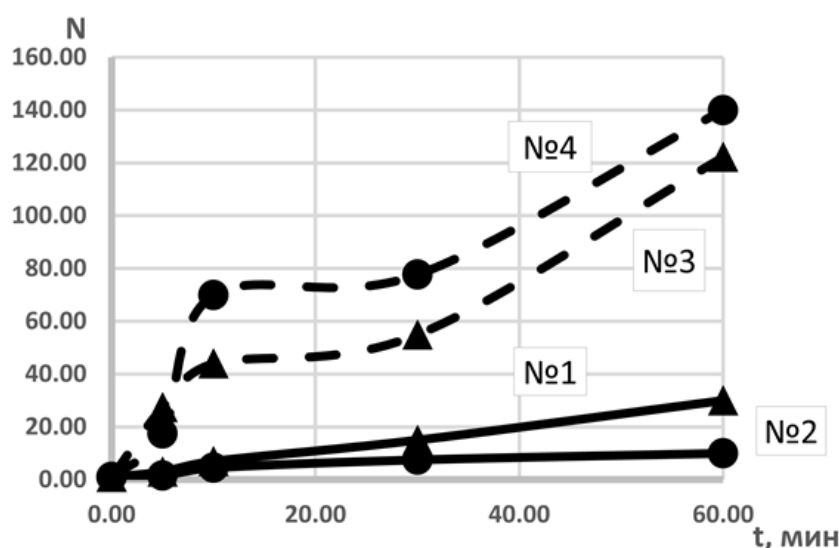


Рис. 5. Зависимость изменения от времени коэффициента концентрации N:

1 - образец №1; 2 - образец №2; 3 - образец №3, 4 - образец №4

В соответствии с методикой обработки экспериментальных данных, описанной в гл. 3, был проведён регрессионный анализ. Оценка параметров выбранной модели произведена с помощью пакета программ STAT-GRAPHICS. Оценка значимости коэффициентов регрессии, произведённая с помощью критерия Стьюдента.

Проверка однородности дисперсий S_j^2 и воспроизводимости опытов проводилась по критерию Кохрена. Расчётные значения критерия G_p оказались меньше табличных (G_T). Опыты воспроизводимы, имеет место однородность дисперсий.

Сведения о воспроизводимости опытов и результаты проверки адекватности полученных регрессионных моделей

дуб	$G_p=0,1608;$	$F_p=0,1801$	$R^2=0,9245$
осина	$G_p=0,1406;$	$F_p=0,1240$	$R^2=0,9208$

Проверка адекватности регрессионной модели осуществлялась с помощью F - распределения. Полученные значения для углей из осины и для углей из дуба представлены в табл.3. Это позволяет сделать вывод, что гипотеза об адекватности принимается, и математическая модель может быть использована для описания процесса пропитки. Этот же вывод подтверждают коэффициенты детерминации, полученные на ПЭВМ:

Таким образом, линейная регрессионная модель вполне пригодна для описания процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил встречно-центробежным способом при соблюдении тех же условий и параметров, при которых проводились представленные в работе эксперименты.

Уравнение регрессии, описывающее процесс пропитки примет вид:
 для углей из осины $y = 33,459x_1 + 0,013x_2 + 0,676x_3 - 0,230x_4;$ (18)

для углей из дуба $y = 36,762x_1 + 0,015x_2 + 0,853 - 0,236x_4.$ (19)

В пятой главе «Экономическая эффективность применения прессованной древесины» приведены технико-экономические показатели производства древесного угля. Выработка древесного угля растёт пропорционально степени уплотнения древесины, что отражено на графике, рис. 6. Растёт и объёмная плотность угля, что, несомненно, повышает его качество.



Рис. 6. Зависимость выработки древесного угля от плотности исходной древесины.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ проведённых исследований подтвердил пригодность древесины мягких лиственных пород для производства качественного древесного угля.

2. Методика анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины за счёт пьезотермической обработки позволила установить рациональные области применения конечного продукта в зависимости от эксплуатационных требований: при степени уплотнения $\varepsilon=0,75$ в 5-8 раз увеличиваются показатели твёрдости, износостойкости и сопротивление поперечному изгибу; при динамических нагрузениях снижаются показатели сопротивления ударному изгибу, скалыванию и ударной твёрдости; при сжатии древесины вдоль волокон не обнаруживается существенного улучшения эксплуатационных характеристик, и применение такой древесины для конструкционных материалов не целесообразно.

3. Рекомендуется к уплотнению свежесрубленная древесина мягких лиственных пород, в которой влага играет роль мицеллярной смазки и снижает коэффициент внутреннего трения при пьезообработке.

4. Получены уравнения регрессии, описывающие процесс пропитки капиллярно-пористых структур в поле центробежных сил:

- для углей из осины $x = 33,459 x_1 + 0,013 x_2 + 0,676 x_3 - 0,230 x_4$;

- для углей из дуба $x = 36,762 x_1 + 0,015 x_2 + 0,853 x_3 - 0,236 x_4$.

5. Установлено, что наиболее интенсивное поглощение пропиточной жидкости древесными углями при встречно-центробежном способе пропитки происходит в относительно короткий начальный период обработки, что доказывает нецелесообразность длительной пропитки в поле центробежных сил.

6. Параметры сквозной пропитки капиллярно-пористых структур можно определить по зависимостям 2.34-2.41, гл.2.

7. Экспериментально установлена кинетика очистки загрязнённых водных модельных растворов:

- древесный уголь из исходной древесины осины натуральной, окисленный пропиткой, поглощает в первые 5 мин до 90% ионов бензола, продолжая поддерживать процесс сорбции в последующее время;

- древесный уголь из исходной древесины осины с объёмным уплотнением $\varepsilon=0,75$ поглощает в первые 3 мин до 95% ионов свинца, продолжая поддерживать процесс сорбции в последующее время. Эффективность такого сорбента в 11 раз выше эффективности сорбента из дубового древесного угля.

8. Индекс доходности от внедрения результатов работы в технологию производства древесноугольных сорбентов при расчётном объёме их производства 1000 т/год составит более 1,5 при сроке окупаемости 2,5 года.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в ведущих рецензируемых журналах:

1. *Бирман А.Р.* Борирование древесины пропиткой [Текст] / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 208. – СПб: ИПО СПбГЛТУ, 2014.– С. 130-137. (№ 972)
2. *Бирман А.Р.* Торцовая пропитка длинномерных сортиментов [Текст] / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2014 № 7 – Москва: «Буква», 2014. – С. 281-285. (№ 1346)
3. *Кривоногова А.С.* Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида [Текст] / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – С. 286-292. (№ 1346)
4. *Бирман А.Р.* Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил [Текст] / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – С. 276-283. (№ 1346)
5. *Кривоногова А.С.* Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотнённой древесины [Текст] / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – С. 293-302. (№ 1346)

Публикации в прочих изданиях:

6. *Бирман А.Р.* Способ торцовой пропитки длинномерных сортиментов на определённую их длину [Текст] / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С. // Современные проблемы переработки древесины: материалы МНПК. – СПб: СПбГЛТУ-НОЦ МТД, 2014. – С. 77-81.
7. *Бирман А.Р.*, Пропитка древесины гидростатическим способом [Текст] / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд. по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 33-38.
8. *Бирман А.Р.* Пропитка вертикальных деревянных опор, устанавливаемых в грунт [Текст] / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Актуальные проблемы развития ЛК: материалы МНПК. – Вологда: ВоГУ, 2015. – С. 114-116.
9. *Кривоногова А.С.* Использование эффективности метода гидростатического давления пропиточной жидкости при повышении качественных характеристик лесоматериалов [Текст] / Кривоногова А.С., Бир-

ман А.Р. // Materiály XI mezinárodní vědecko-praktická conference «Věda a technologie: krok do budoucnosti». Díl 17. – Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2015. – P. 96-100.

10. *Бирман А.Р.* Анализ эксплуатационных параметров уплотнённой древесины [Текст] / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в ЛК материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. каф. НГиГ ФЛА. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С.9-12.

11. *Кривоногова А.С.* Анализ использования способов пропитки в технологии производства древесного угля [Текст] / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Materials of the XI International scientific and practical conference: «Modern scientific potential». Vol. 35. – Sheffield: Science and education LTD, 2015. – P. 58-63.

12. *Кривоногова А.С.* Методика совершенствования технологии подготовки древесины мягких лиственных пород как сырья для производства древесного угля [Текст] / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в ЛК: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. каф. НГиГ ФЛА. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С.16-18.

13. *Бирман А.Р.* Использование методов пропитки длинномерных сортиментов [Текст] / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Вестник Нижневартского государственного университета: Математические и естественные науки. – Нижневартск: Изд-во НВГУ, 2015. - №1. – С. 45-48.

14. *Кривоногова А.С.* Модификация древесины методом уплотнения с целью получения древесного угля с высокой сорбционной способностью [Текст] / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Передовые технологии в ЛК: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. каф. НГиГ ФЛА. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С. 27-32.

15. *Кривоногова А.С.* Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях [Текст] / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014, С. 200-204.

16. *Кривоногова А.С.* Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях [Текст] / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в ЛК: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. каф. НГиГ ФЛА. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С.35-39.

17. *Кривоногова А.С.* Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс [Текст] / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014, С. 212-218.

18. *Кривоногова А.С.* Актуальные направления применения модифицированной древесины в производстве древесноугольных сорбентов [Текст] / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в ЛК: материалы НТК

СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. каф. НГиГ ФЛА. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С.46-48.

19. *Кривоногова А.С.* Построение математической модели процесса модификации капиллярно-пористых структур пропиткой [Текст] / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в ЛК: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. каф. НГиГ ФЛА. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С.48-52.

20. *Кривоногова А.С.* Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом [Текст] / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – С. 236-240.

Просим принять участие в работе диссертационного Совета Д 212.220.03 или прислать отзыв на автореферат в трёх экземплярах с заверенными подписями по адресу:

194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

КРИВОНОГОВА АЛЕКСАНДРА СТАНИСЛАВОВНА

АВТОРЕФЕРАТ

Подписано в печать с оригинал-макета 15.04.15.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Уч.-изд. л. 1,0. Печ. л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ № 51. С 2а.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 3.