

А  
2-49

На правах рукописи



**ЧЕРНЫШЕВ ДЕНИС ОЛЕГОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОГО  
СВЯЗУЮЩЕГО**

05.21.05 – Древесиноведение, технология и оборудование  
деревопереработки

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург 2013

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель:

**Гороховский Александр Григорьевич**,  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

**Буриндин Виктор Гаврилович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», заведующий кафедрой технологии переработки пластмасс

**Исаев Сергей Петрович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет», заведующий кафедрой технологии заготовки и переработки древесных материалов

Ведущая организация:

ООО «Уральский научно-исследовательский институт лесной промышленности», г. Екатеринбург

A-1770

Защита диссертации состоится «26» декабря 2013 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, аудитория 1-401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Автореферат разослан « 25 » ноября 2013 г.

Научная библиотека  
УГЛТУ  
г. Екатеринбург

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Кузубина Нелли Валерьевна

**Актуальность темы.** Плитные материалы на основе древесины находят широкое применение в различных областях народного хозяйства. Существуют разновидности композиционных материалов специального назначения, например, для использования в мебельной промышленности, строительстве, автомобиле-, вагоно- и судостроительстве и т.д.

Как правило, для изготовления таких композиционных материалов используются специально подготовленные древесные частицы, к форме и размерам которых предъявляются достаточно жесткие требования. При этом мелкодисперсные древесные отходы (такие как опилки, мелкая стружка, древесная пыль и т.п.) оказываются непригодными для изготовления плитных композиционных материалов с использованием существующих технологий.

В последние годы различными производителями освоен выпуск высококачественных порошковых клеев, пригодных для изготовления древесных композиционных материалов весьма низкой токсичности. При этом исследования по подобному использованию таких клеев практически не проводились.

Значительный интерес также представляют композиционные материалы, обладающие защитными свойствами от рентгеновского излучения.

Таким образом, проблема формирования мелкодисперсного материала на основе порошкового связующего, обладающего при этом специальными свойствами и низкой токсичностью представляется актуальной и своевременной.

**Цель работы.** Снижение токсичности и повышение эксплуатационных характеристик композиционных древесных материалов.

**Научной новизной обладают:**

результаты компьютерного моделирования процесса прессования композиционного материала на порошковом связующем;  
математические модели зависимостей физико-механических свойств плит «DS» и «DS-1» от их рецептуры;  
рациональные значения количества исходных компонентов в рецептуре «DS» и «DS-1».

**Практическая значимость работы.**

Разработана технология получения мелкодисперсных композиционных материалов на порошковом связующем.

**Методы исследования.**

При выполнении работы использованы современные методы (компьютерное моделирование, ИК-спектроскопия, электронная микроскопия) и стандартные методики по ГОСТам.

**Предмет исследования.**

Закономерности процесса прессования плитного мелкодисперсного древесного композиционного материала на порошковом связующем.

**Объект исследования.**

Композиционные древесные материалы пониженной токсичности «DS» и «DS-1».

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. В процессе прессования композиционного древесного материала на порошковом связующем незначительные величины давления парогазовой смеси позволяют существенно уменьшить время снижения давления.

2. В процессе формирования композиционного материала порошковое связующее, расплавляясь, обволакивает древесные частицы и равномерно распределяет частицы сульфата бария, что повышает кратность ослабления рентгеновского излучения.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректными допущениями при замене реальных процессов их математическими моделями, современными средствами научного исследования; использованием положений теории тепло-массообмена для капиллярно-пористых тел; оценкой адекватности разработанных моделей реальным процессам, приемлемым совпадением результатов теоретических исследований с экспериментальными данными; положительными результатами промышленной апробации.

**Апробация работы.** Результаты работы доложены, обсуждены и получили положительные оценки на VI Международном Евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (Екатеринбург, 2011); VIII всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2012); IX международная научная практическая конференция «Бюджеттеизследования – 2013» (София «Бял ГРАД – БГ» ООД, 2013); VIII Международном евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (Екатеринбург, 2013); на программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса 2013» - победитель конкурса.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов и рекомендаций, библиографического списка и приложений. Текстовая часть работы, включая рисунки и таблицы, изложена на 167 страницах и содержит 48 рисунков и 41 таблицу. Список использованной литературы насчитывает 135 наименований. Приложение на 2 страницах включает акт производственных испытаний и диплом победителя программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («Умник - 2013»).

**КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована тема исследования, цель исследования, научная новизна и практическая значимость работы, методы, предмет и объект исследования, сформулированы научные положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов, апробация работы, публикации, а также объем и структура диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена обзору научно-технической литературы по анализу видов древесных композиционных материалов, в частности плитных материалов из древесно-полимерных композиций, технологий их производства. Рассмотрены способы модификации композиционных материалов с целью получения специальных свойств, в частности рентгенозащитных.

На основании обзора научно-технической литературы определены **задачи проводимого исследования:**

1. Теоретически исследовать особенности процесса прессования плитного мелкодисперсного древесного материала на порошковом связующем;
2. Исследовать влияние состава древесно-клеевой композиции на свойства плит «DS» и «DS-1»;
3. Разработать рациональные рецептуры древесно-клеевой композиции, для производства композиционных материалов «DS» и «DS-1»;
4. Разработать технологическую схему и режимы изготовления плитных композиционных материалов «DS» и «DS-1»;
5. Провести промышленные испытания технологических процессов изготовления плит «DS» и «DS-1»;
6. Рассчитать экономическую эффективность разработки.

**Вторая глава** посвящена моделированию процессов диффузионно-фильтрационного переноса тепла и массы, происходящих при формировании древесного композиционного материала на основе порошкового связующего.

Процесс горячего прессования композиционного древесного материала представляет собой контактный нагрев влажного пористого тела. Явление переноса энергии и вещества при нагреве влажных пористых тел подчиняются общим закономерностям термодинамики необратимых процессов.

Процессы тепломассопереноса (в условиях постоянства коэффициентов переноса) описывается системой дифференциальных уравнений частных производных, предложенной академиком А.В. Лыковым. Данная система имеет аналитическое решение. Однако её применение в условиях высокоинтенсивного процесса, каковым является прессование композиционного материала крайне затруднено по двум причинам:

- зависимостью ряда теплофизических характеристик процесса от температуры и влажности материала;
- отсутствием целого ряда численных значений теплофизических параметров и, более того, приемлемых методик определения величин данных параметров.

Для анализа процессов тепломассопереноса в процессе прессования композиционного материала оказывается вполне пригодной теория прессования древесностружечных плит, предложенная А.Н. Обливиным. При этом анализ процесса проводится на основе системы дифференциальных уравнений частных производных при контактном нагреве влажного пористого тела с введением внутренних коэффициентов тепло- и массообмена. Система имеет следующую структуру:

1. Уравнения фильтрации:

$$\rho_{i,j} u_{i,j} = -k_{x,i,j} \frac{p_{i+1,j} - p_{i-1,j}}{2\Delta x}; \quad (1)$$

$$\rho_{i,j} v_{i,j} = -k_{y,i,j} \frac{p_{i+1,j} - p_{i-1,j}}{2\Delta y}, \quad (2)$$

где  $\Delta x, \Delta y$  – пространственные шаги сетки.

2. Уравнение переноса паровоздушной смеси с учетом (1) и (2):

$$\frac{p_{i,j}^* - p_{i,j}}{\Delta \tau} - k_{x,i,j} \frac{p_{i,j+1} - p_{i,j-1} - 2p_{i,j}}{\Delta x^2} - k_{y,i,j} \frac{p_{i,j+1} - p_{i,j-1} - 2p_{i,j}}{\Delta y^2} =$$

$$= \begin{cases} \beta_{v_1} (p_{п.н,i,j} - p_{п,i,j}), & p_{п,i,j} \geq p_{п.н,i,j}; \\ 0 & p_{п,i,j} < p_{п.н,i,j}; \quad W_{i,j} = 0 \\ \beta_{v_2} (p_{п.н,i,j} - p_{п,i,j}), & p_{п.н,i,j} \geq p_{п,i,j}; \quad W_{i,j} \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

где  $\Delta \tau$  – шаг по времени; знаком \* отмечены соответствующие значения функций в следующий момент времени.

3. Уравнение влагосодержания:

$$\frac{W_{i,j}^* - W_{i,j}}{\Delta \tau} = \begin{cases} \beta_{v_1} (p_{п.н,i,j} - p_{п,i,j}), & p_{п,i,j} \geq p_{п.н,i,j}; \\ 0 & p_{п,i,j} < p_{п.н,i,j}; \quad W = 0 \\ \beta_{v_2} (p_{п.н,i,j} - p_{п,i,j}), & p_{п.н,i,j} \geq p_{п,i,j}; \quad W \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

4. Уравнение теплопроводности в скелете пористого тела:

$$\left[ (1 - \Pi) c_{ск,i,j} \rho_{ск,i,j} + c_{в,i,j} W_{i,j} \right] \frac{t_{ск,i,j}^* - t_{ск,i,j}}{\Delta \tau} =$$

$$= (1 - \Pi) \left( \lambda_{x,i,j} \frac{t_{ск,i-1,j} + t_{ск,i+1,j} - 2t_{ск,i,j}}{\Delta x^2} + \lambda_{y,i,j} \frac{t_{ск,i,j+1} - t_{ск,i,j-1} - 2t_{ск,i,j}}{\Delta y^2} \right) + \alpha_{v,i,j} (t_{i,j} - t_{ск,i,j}) + r \frac{W_{i,j}^* - W_{i,j}}{\Delta \tau}. \quad (5)$$

5. Уравнение переноса энергии паровоздушной смесью:

$$c \Pi \left( \frac{\rho_{i,j}^* t_{i,j}^* - \rho_{i,j} t_{i,j}}{\Delta \tau} + \frac{\rho_{i+1,j} t_{i+1,j} u_{i+1,j} - \rho_{i-1,j} t_{i-1,j} u_{i-1,j}}{2\Delta x} + \frac{\rho_{i,j+1} t_{i,j+1} v_{i,j+1} - \rho_{i,j-1} t_{i,j-1} v_{i,j-1}}{2\Delta y} \right) =$$

$$= \lambda_{i,j} \left( \frac{t_{i+1,j} + t_{i-1,j} - 2t_{i,j}}{\Delta x^2} + \frac{t_{i,j+1} - t_{i,j-1} - 2t_{i,j}}{\Delta y^2} \right) + \alpha_{v,i,j} (t_{ск,i,j} - t_{i,j}) \quad (6)$$

Анализ результатов решения системы, дифференциальных уравнений частных производных теплопереноса, позволяет заключить следующее:

1. Давление парогазовой смеси в прессуемом пакете достигает примерно вдвое меньшей величины, чем его аналогичные значения при прессовании древесно-

стружечных плит (рисунки 1 – 2). На наш взгляд это обусловлено тем, что имеющееся в прессуемом пакете количество влаги также примерно вдвое меньше.

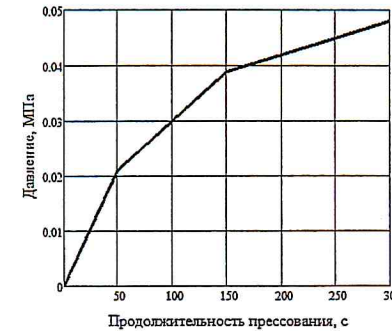


Рисунок 1 – Изменение давления во времени в центре прессуемого пакета

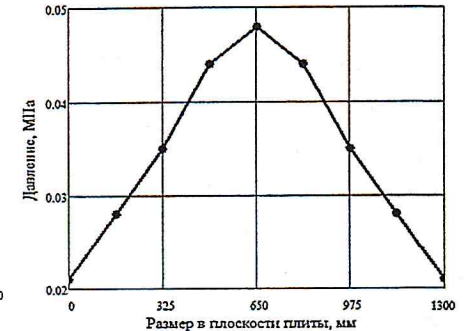


Рисунок 2 – Распределение давления в плоскости плиты

2. Ожидаемое время достижения максимальных величин давления парогазовой смеси в центре пакета также существенно (примерно втрое) больше, чем при прессовании древесностружечных плит в аналогичных условиях (рисунок 1).

3. Градиент давления в плоскости плиты также не значителен по сравнению с прессованием древесностружечных плит ( $P_{max}/P_{min} = 2,3$ ) (рисунок 2).

4. Всё сказанное выше позволяет заключить, что малые величины давления парогазовой смеси и его градиента обуславливают незначительный перенос тепла в плоскости плиты за счёт конденсации и конвекции. С одной стороны, это приводит к увеличению времени прогрева прессуемого пакета. С другой стороны, это позволяет прогнозировать возможное существенное уменьшение такой составляющей цикла прессования как продолжительность снижения давления, вплоть до практически полного его исключения. Это, в свою очередь, при прочих равных условиях позволит увеличить производительность прессового оборудования.

5. Для детального решения описанных проблем необходимо провести экспериментальные исследования.

В третьей главе приведены общие методические положения при проведении экспериментов и обработки их результатов, а также дается характеристика используемых материалов, применяемого оборудования и приборов. Частные методики проведения экспериментов приведены в главе 4.

В четвертой главе «Исследование процесса формирования композиционных материалов «DS» и «DS-1»» приведены данные экспериментальных исследований по ряду направлений:

1. Определено влияние соотношения исходных компонентов на физико-механические свойства плит «DS».

Переменные факторы при проведении эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Переменные факторы при проведении эксперимента

№ п/п	Наименование фактора	Кодированное обозначение	Уровни варьирования		
			нижний	основной	верхний
1	Доля древесных частиц в смеси, %	$x_1$	70	75	80
2	Доля порошкового клея в смеси, %	$x_2$	20	25	30
3	Плотность композиционного материала, $\text{кг/м}^3$	$x_3$	700	850	1000

После обработки экспериментальных данных получены следующие зависимости:

а) Твердость по Бринеллю:

$$\rho = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}: \quad \hat{y} = -226,45x_1 - 1827x_2 + 3676x_1x_2 \quad (7)$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}: \quad \hat{y} = -162,96x_1 - 1279x_2 + 2690x_1x_2 \quad (8)$$

б) Ударная вязкость:

$$\rho = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}: \quad \hat{y} = -2,28 \cdot 10^5 x_1 - 1,584 \cdot 10^6 x_2 + 3,166 \cdot 10^6 x_1x_2 \quad (9)$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}: \quad \hat{y} = -1,852 \cdot 10^5 x_1 - 1,108 \cdot 10^6 x_2 + 2,352 \cdot 10^6 x_1x_2 \quad (10)$$

в) Предел прочности при статическом изгибе:

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}: \quad \hat{y} = -99,7x_1 - 684,1x_2 + 1428x_1x_2 \quad (11)$$

$$\hat{y} = -9,267x_1 - 1,082x_2 \quad (12)$$

На рисунках 3 и 4 приведены графики, интерпретирующие выше приведенные зависимости.

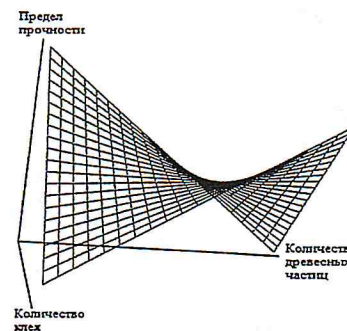


Рисунок 3 – Влияние состава плит «DS» на предел прочности при статическом изгибе (плотность  $1000 \text{ кг/м}^3$ )

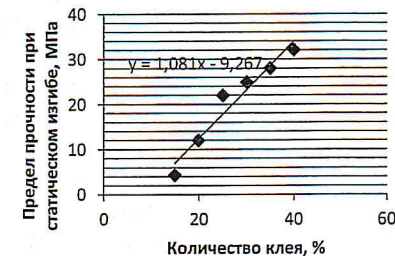


Рисунок 4 – Влияние количества клея на предел прочности при статическом изгибе (плотность  $1000 \text{ кг/м}^3$ )

Анализ результатов эксперимента позволяет заключить, что:

- При содержании клея менее или равным 10% плиты «DS» либо не формируются совсем, либо имеют крайне низкую конструктивную прочность и определение физико-механических характеристик практически невозможно;
- Сопоставимые по величине с ДСтП значения физико-механических характеристик достигаются уже при содержании клея в пределах 25%;
- Для создания эффективной технологии плит «DS» необходимо решить оптимизационную задачу типа: состав  $\rightarrow$  плотность  $\rightarrow$  свойства.

2. Проведена оптимизация процессов формирования плит «DS».

В качестве основного эксперимента был реализован двухфакторный план типа В<sub>2</sub>, включающий 8 опытов. Данный план при сравнительно небольшом числе опытов и простоте реализации обладает приемлемыми статистическими характеристиками.

В результате реализации плана эксперимента получены следующие зависимости:

Оптимизационная модель имеет следующий вид:

$$18,08 + 2,27x_1 + 8,53x_2 - 1,13x_1^2 - 1,63x_2^2 - 1,13x_1x_2 \rightarrow \max \quad (13)$$

$$19,98 - 1,85x_1 - 0,35x_2 + 0,125x_1^2 + 0,225x_2^2 - 0,025x_1x_2 \leq 20 \quad (14)$$

$$-1 \leq x_1 \leq 1 \quad (15)$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1, \quad (16)$$

где  $x_1$  - содержание клея;

$x_2$  - плотность плиты.

Для решения задачи оптимизации применим процедуру Given-Minimize VSMathcad- 12.

Оптимальные значения управляющих факторов составляют:

$$x = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 30 \% \\ 1000 \text{ кг/м}^3 \end{vmatrix}$$

При этом достигается максимальное значение предела прочности при статическом изгибе (< 30 МПа) при величине разбухания по толщине порядка 18%. Дальнейший анализ оптимизационной модели показал, что для экономии связующего (порошкового клея), целесообразно снизить его количество в рецептуре плит до 25%. При этом значения выходных параметров изменятся незначительно.

В то же время уменьшение плотности плит до 850 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению предела прочности при статическом изгибе. Правда, следует отметить, что величина разбухания по толщине увеличивается при этом незначительно (около 10%).

3. Определено влияние исходных компонентов на физико-механические свойства «DS-1».

Данный эксперимент проводится с целью - установления влияния количества сульфата бария в составе исходной композиции на свойства плит.

В результате обработки данных эксперимента построены следующие зависимости:

$$\text{- Ударная вязкость: } \hat{Y}_1 = 23246 + 1,31x \quad (17)$$

$$\text{- Твердость по Бринеллю: } \hat{Y}_2 = 55,3 + 0,291x \quad (18)$$

$$\text{- Разбухание по толщине: } \hat{Y}_3 = 22,5 - 0,35x \quad (19)$$

$$\text{- Предел прочности при статическом изгибе: } \hat{Y}_4 = 18,86 - 0,173x \quad (20)$$

Анализируя полученные зависимости можно заключить следующее:

- Увеличение содержания сульфата бария в исходной композиции существенно повышает водостойкость плит. Так повышение содержания сульфата бария до 40 % снижает разбухание по толщине в 2,3 раза по сравнению с его нулевым содержанием.
- Прочностные характеристики плит «DS-1» при увеличении содержания сульфата бария падают. Например, предел прочности при статическом изгибе существенно уменьшается (более чем в 2 раза), что можно объяснить ухудшением адгезии между расплавленным адгезивом и субстратом за счет наличия микрочастиц BaSO<sub>4</sub>.
- Четкой зависимости ударной вязкости и твердости по Бринеллю от количества сульфата бария установить не удалось: большой разброс результатов, как по опытам, так и по повторениям одного опыта не позволяет дать однозначного заключения.

4. Проведена оптимизация процесса формирования плит «DS-1».

Оптимизационную модель формируем в следующем виде:

$$15,2 + 1,47x_1 + 1,91x_2 + 0,56x_3 - 2,74x_1^2 - 2,02x_2^2 - 1,73x_3^2 - 1,06x_1x_2 - 0,16x_1x_3 - 0,56x_2x_3 \rightarrow \max \quad (21)$$

$$10,7 + 3,3x_1 - 0,53x_2 - 0,07x_3 + 1,64x_1^2 - 0,5x_2^2 - 0,1x_3^2 + 0,09x_1x_2 - 0,18x_1x_3 + 0,08x_2x_3 \leq 10 \quad (22)$$

$$-1 \leq x_1 \leq 1 \quad (23)$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1 \quad (24)$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1, \quad (25)$$

где  $x_1$  - содержание сульфата бария;

$x_2$  - содержание клея;

$x_3$  - плотность плиты.

Для решения задачи оптимизации применим процедуру Given-Minimize VSMathcad-12.

Оптимальные значения управляющих факторов составляют

$$x^* = \begin{vmatrix} -0,241 \\ 0,536 \\ -1 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 27,6 \% \\ 27,7 \% \\ 1000 \text{ кг/м}^3 \end{vmatrix} \quad (26)$$

При этом ожидаемые значения:

- разбухание по толщине:

$$Y_1^* = 9,444 \% (< 10 \%) \quad (27)$$

- предел прочности при статическом изгибе:

$$Y_2^* = 16,972 \text{ МПа.} \quad (28)$$

Однако следует отметить, что достижение максимально высоких физико-механических показателей для плит «DS-1» не является основной целью. Важной для этих плит является рентгенозащитная составляющая.

5. Установлено влияние количества компонентов древесно-клеевой композиции материала «DS-1» на величину кратности ослабления излучения.

На рисунке 5 представлены графические зависимости изменения степени защиты материала «DS-1» от количества наполнителя в составе.

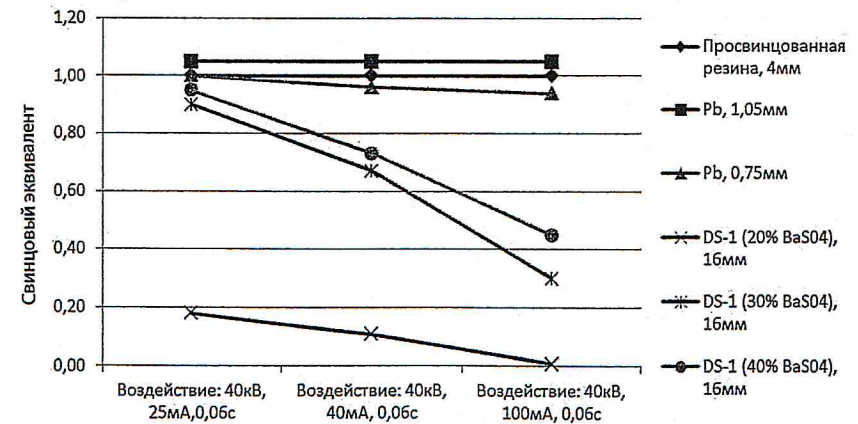


Рисунок 5 - Защитные свойства различных материалов

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- Количество минерального наполнителя ( $BaSO_4$ ) пропорционально влияет на кратность ослабления рентгеновского излучения, что подтверждает результаты ранее проведенных исследований.
- Более интенсивно кратность ослабления возрастает в диапазоне 20 – 30 % содержания  $BaSO_4$ . Дальнейшее увеличение содержания данного минерального наполнителя не приводит к существенному увеличению ослабления излучения. Поэтому с учетом влияния содержания  $BaSO_4$  на физико-механические свойства, можно рекомендовать его количество в пределах 28 – 30 %.

6. Определено влияние количества компонентов древесно-клеевой композиции на величину токсичности.

Количество формальдегида, выделяющегося из плит «DS» и «DS-1» определялось перфораторным йодометрическим методом по ГОСТ 27678-88 (СТ СЭВ 5881-87).

Количество образцов для определения токсичности – 6. Содержание порошкового связующего в образцах – 25 %. Средняя величина эмиссии свободного формальдегида составляет 3,86 мг / 100 г.

Таким образом, класс эмиссии формальдегида для плит «DS» и «DS-1» – E0,5.

7. Определено влияние количества компонентов древесно-клеевой композиции на химический состав и микроструктуру плит.

Для определения химического состава материала проводилась инфракрасная спектроскопия (ИК). В результате анализа ИК-спектров составлена их сравнительная характеристика.

Некоторые характеристические полосы поглощения свидетельствуют о наличии существенных различий. Так полоса поглощения в области 3600-3000  $cm^{-1}$  является характеристической для полимерных соединений характеризует наличие ОН-группы, связанной молекулярной водородной связью.

Полоса в области 3000-2800  $cm^{-1}$  характеризует наличие  $-CH_3$  и  $=CH_2$  группы, интенсивность полосы зависит от количества этих групп в молекуле полимера наличие сильной полосы поглощения 1735-1732 подтверждает наличие карбоксильных групп.

Полосы поглощений в областях 1463, 1452 и 1386-1303  $cm^{-1}$  характеризуют колебания групп  $=CH_2$ ,  $-CH_3$  и  $CH$  свойственных насыщенным алифатическим углеводородам. Наличие подобных групп характеризует высокую реакционную активность соединения, а также повышенную адгезионную активность на химическом уровне.

По полученным ИК-спектрам можно сделать вывод, что химический состав термоотвержденного связующего отличается от состава не отвержденного связующего. В процессе отверждения происходят реакции поликонденсации с образованием простых эфирных связей  $-CH_2-O-CH_2-$  и образуется простран-

ственно сшитая молекула полимера. ИК-спектр отвержденного связующего показал глубокую степень полимеризации, что подтверждается высокой прочностью образующегося материала.

Проводили также микросъемку новых материалов «DS», «DS-1» и их компонентов на электронном микроскопе JSM-6390.

На представленных в работе снимках видно, как порошковое связующее после прессования расплавляясь под действием температуры, обволакивает опилки. При этом для плиты «DS-1» связующее фиксирует на опилках равномерно распределенные частицы минерального наполнителя ( $BaSO_4$ ). Это позволяет предположить, что чем мельче фракция древесных частиц, используемых для изготовления плит «DS-1», тем равномернее частицы  $BaSO_4$  распределяются в материале. Это, в свою очередь, повышает его защитные свойства от излучения.

8. Проведено исследование обрабатываемости резанием плит «DS» и «DS-1».

На рисунках 6 и 7 представлены значения касательной и радиальной силы резания плит.

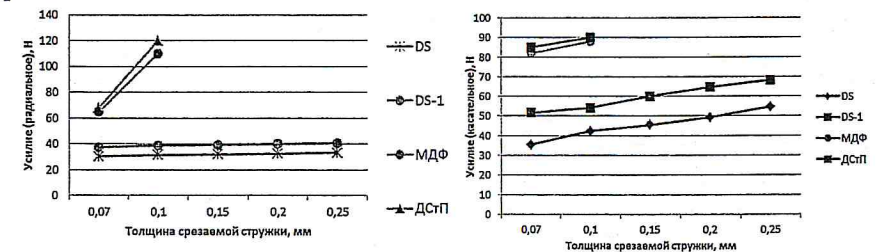


Рисунок 6 – Нормальное (радиальное) усилие резания древесных материалов Рисунок 7 – Касательное усилие резания древесных материалов

Сравнивая значения касательной и радиальной силы резания плит, можно сделать вывод, что значения сил резания у разработанных материалов «DS» и «DS-1» существенно ниже, чем у известных плит, таких как ДСтП и МДФ (в 1,5 – 1,6 раза). Это связано с существенно меньшим размером древесных частиц, из которых сформирована плита. Из вышеизложенного можно предположить, что раз у плит «DS» и «DS-1» ниже усилия резания, то значит и мощность резания соответственно будет ниже. Это позволяет утверждать, что будут меньше:

- Расходы на приобретение инструмента и его подготовку в ходе эксплуатации;
- Расходы на электроэнергию при обработке.

В пятой главе приведено экономическое обоснование эффективности производства плитных композиционных материалов «DS» и «DS-1», а также технология их изготовления и применяемое оборудование. Промышленная апробация была проведена в условиях ЗАО «Туринский ЦБЗ».

При годовом объеме производства плит «DS» 10000 м<sup>3</sup>, ожидаемая чистая прибыль составляет более 27 млн. руб., рентабельность продукции около 10 %, срок окупаемости капитальных вложений составит 13 месяцев.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Изучение вопросов формирования плитных мелкодисперсных древесных композиционных материалов на порошковом связующем позволяет сделать следующие основные выводы и рекомендации.

1. В деревообрабатывающих производствах образуется большое количество мелкодисперсных отходов, которые до сих пор не находят полного и рационального использования.
2. В широком промышленном применении практически отсутствуют технологии композиционных материалов на порошковых связующих.
3. Процесс горячего прессования композиционного древесного материала представляет собой контактный нагрев влажного пористого тела. Явление переноса энергии и вещества при нагреве влажных пористых тел подчиняется общим закономерностям термодинамики необратимых процессов.
4. Анализ процесса прессования возможен на основе системы дифференциальных уравнений частных производных с введением внутренних коэффициентов тепло- и массообмена. Система имеет следующую структуру:
  - уравнение фильтрации;
  - уравнение переноса паровоздушной смеси;
  - уравнение влагосодержания;
  - уравнение теплопроводности в скелете пористого тела;
  - уравнение переноса энергии паровоздушной смесью.
5. Решение системы дифференциальных уравнений частных производных при контактном нагреве влажного пористого тела позволило заключить следующее:
  - относительно малые величины давления парогазовой смеси и его градиента обуславливают незначительный перенос тепла в плоскости плиты за счёт конденсации и конвекции, что уменьшает скорость прогресса прессуемого пакета;
  - возможно некоторое уменьшение цикла прессования композиционного материала за счёт уменьшения продолжительности снижения давления, что позволит увеличить производительность прессового оборудования;
  - возможно некоторое увеличение продолжительности выдержки прессуемого пакета под давлением, что приведёт к увеличению цикла прессования.
6. ИК-спектроскопия порошкового связующего показала, что наличие СН<sub>n</sub> – групп, свойственную алифатическим углеводородам, характеризует высокую реакционную активность соединения, а также повышенную адгезионную активность на химическом уровне.

7. В процессе отверждения связующего происходит реакция поликонденсации с образованием эфирных связей –СН<sub>2</sub>–О–СН<sub>2</sub> и образуется пространственно сшитая молекула полимера. ИК-спектр отвержденного связующего показал глубокую степень его полимеризации, что подтверждается высокой прочностью и твердостью образующегося материала. При этом для плит «DS-1» связующее фиксирует на опилках равномерно распределенные частицы минерального наполнителя. Это позволяет предположить, что чем мельче фракция древесных частиц, используемых для изготовления плит «DS-1», тем равномернее частицы BaSO<sub>4</sub> распределяются в материале. Это в свою очередь повышает его защитные свойства от рентгеновского излучения.
8. Для плит «DS» факторами, наиболее существенно влияющими на физико-механические свойства, является содержание порошкового связующего и плотность плит. Причем максимальные показатели достигаются при содержании клея 30 % и плотности плит 1000 кг/м<sup>3</sup>. Для экономии связующего целесообразно снизить его количество в рецептуре до 25 %. При этом значения физико-механических показателей изменяются незначительно. Уменьшение плотности плит до 850 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению физико-механических показателей плит.
9. Для плит «DS-1» увеличение количества сульфата бария, с одной стороны, снижает физико-механические свойства, а с другой, повышает кратность ослабления рентгеновского излучения. Поэтому для достижения максимального эффекта количество минерального наполнителя должно находиться в пределах 28 – 30 %.
10. Плиты «DS» и «DS-1» обладают низкой токсичностью: класс эмиссии формальдегида – E0,5.
11. У плит «DS» и «DS-1» усилие резания ниже, чем у плит ДСтП и МДФ. Это связано с малым размером древесных частиц, из которых сформирована плита. Соответственно, ниже мощность резания, что снижает энергозатраты при обработке материала, а также затраты на приобретение инструмента.
12. При годовом объеме производства плит «DS» 10000 м<sup>3</sup> ожидаемая чистая прибыль составит более 27 млн. руб., рентабельность продукции около 10 %, срок окупаемости капитальных вложений 13 месяцев.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

#### В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Чернышев Д.О. Создание инновационного композиционного материала специального назначения на основе древесины «DS-1» / Б.Н. Карев, Д.О. Чернышев, О.Н. Чернышев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 5; URL: <http://www.science-education.ru/111-10058> (дата обращения: 10.09.2013).



2. Чернышев Д.О. Теоретические исследования формирования древесного композиционного материала на основе порошкового связующего / А.Г. Гороховский, Д.О. Чернышев, Е.Е. Шишкина // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 6 URL: <http://www.science-education.ru/111-10647> (дата обращения: 05.11.2013).
3. Чернышев Д.О. Мелкодисперсные древесные композиционные материалы на порошковом связующем / А.Г. Гороховский, Д.О. Чернышев, О.Н. Чернышев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-10693> (дата обращения 06.11.2013).

**В статьях, материалах и тезисах конференций:**

4. Чернышев Д.О. Инновационные композиционные материалы / Ю.И. Ветошкин, Д.О. Чернышев, О.Н. Чернышев // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: сборник трудов VI международного Евразийского симпозиума. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. – 388 с.
5. Чернышев Д.О. Инновационные материалы специального назначения на основе древесины и ее отходов / Ю.И. Ветошкин, Д.О. Чернышев // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург, УГЛТУ. – 2012. – 386 с.
6. Чернышев Д.О. Инновационные композиционные материалы «DS» и «DS-1» / Чернышев, Д.О. // Бюджетные исследования – 2013. Здание и архитектура. Физическая культура и спорт. – Том 30. – София, БялГРАД-БГ. – 2013. – 80 с.
7. Чернышев Д.О. Материалы на основе древесных отходов «DS» и «DS-1» / Д.О. Чернышев, С.Г. Бражников // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: сборник трудов VIII международного Евразийского симпозиума. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – 388 с.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37, ауд. 401, УГЛТУ, ученому секретарю диссертационного совета. E-mail: [bsovet@usfeu.ru](mailto:bsovet@usfeu.ru), факс: (343) 262-96-38.

Подписано в печать 14.11.2013.

Объем 1,0 п.л.

Тираж 100 экз.

Заказ № 234

Уральский государственный лесотехнический университет  
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Отдел оперативной полиграфии  
УГЛТУ  
г. Екатеринбург