

На правах рукописи

Яцун Ирина Валерьевна

СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

Специальность 05.21.05 – Технология и оборудование деревообрабатывающих  
производств, лесоведение

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург - 2003

Работа выполнена на кафедре механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета.

- Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Ветошкин Юрий Иванович
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Сергеев Валерий Васильевич  
- доктор технических наук, доцент Цой Юрий Иванович
- Ведущая организация - Федеральное государственное унитарное предприятие «УралНИИПДрев»

Защита диссертации состоится «26» декабря 2003 г. в 10 часов в аудитории 1-401 на заседании диссертационного совета К.212.281.01 Уральского государственного лесотехнического университета (620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан «25» декабря 2003 года

Ученый секретарь диссертационного совета кандидат технических наук



А.И. Монтиле

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ионизирующее излучение является вредным и опасным для здоровья и жизни живых организмов. Поэтому в местах использования этого вида электромагнитного излучения предусматривается использование соответствующей защиты.

Общепринятой защитой являются материалы на основе свинца, но в последнее время остро встал вопрос о замене этих материалов другими, более безопасными в эксплуатации.

Отечественный рынок предлагает широкую гамму разнообразных материалов для защиты от ионизирующего излучения (в частности, рентгеновского), среди которых строительные и конструкционные материалы содержащие и не содержащие свинец, а также черные и цветные металлы.

Наиболее широкое применение при оформлении рентгеновских кабинетов получили такие материалы, как просвинцованная резина и материалы на основе природного барита (баритовая штукатурка). Однако, предлагаемые материалы обладают рядом недостатков. Просвинцованная резина имеет ограниченную область применения в связи с неудобством ее крепления на плоскостях и эластичности самого материала; это сравнительно дорогой и недолговечный материал. Баритовая штукатурка – более дешевый материал, но на формирование защитного слоя из нее (толщиной около 30 мм) требуются большие трудозатраты и дополнительные материалы для придания интерьеру элегантного внешнего вида по цвету, дизайну и удобству в эксплуатации.

Поисковые исследования позволяют сделать вывод о том, что в последнее десятилетие велась работа над созданием новых конструкционных материалов, способных выполнять роль защиты от рентгеновского излучения, в которых в качестве несущей основы и защитного слоя выступают разнообразные материалы.

Древесина лиственных пород, благодаря пористому строению, может использоваться в качестве основы в подобных конструкциях.

Создание слоистых материалов из шпона с включением в их конструкцию разных материалов (листов фольги из различных металлов, полиэтилена, стекла, армирующих сеток и др.) позволяют получать материалы на основе древесины с новыми заранее задаваемыми свойствами и тем самым расширить область применения древесины.

Таким образом, поисковые работы и лабораторные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности разработки конструкции слоистого материала на основе древесины, которая могла бы использоваться в качестве защитного, конструкционного и отделочного материала в местах применения рентгеновского излучения, являясь актуальной задачей и вызывая интерес в плане теоретических и экспериментальных исследований.

Цель работы. Разработка конструкции и технологии изготовления слоистого материала на основе древесины с защитными свойствами от рентгеновского излучения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- раскрыть особенности анатомической структуры древесины и дефектов ее обработки, дать описание реальной поверхности лущеного березового шпона с применением математических методов;
- исследовать процесс формирования контакта связующего (сплава ВУДа) с поверхностью шпона и распределения его в клеевом слое в зависимости от качества подготовки поверхности; определить объем зазора при контакте листов шпона и количество связующего, необходимого для изготовления слоистого материала специального назначения на основе математической модели поверхности лущеного березового шпона;
- основываясь на законах ослабления рентгеновского излучения теоретически рассчитать толщину защитного слоя слоистого материала специального назначения;
- установить рациональные параметры создания конструкции слоистого материала специального назначения;
- определить технико-экономическую эффективность разработанных мероприятий, по результатам их внедрения в условиях промышленного производства.

#### Научные положения, выносимые на защиту.

1. Необходимая толщина «клеевой» прослойки, с целью обеспечения защитных свойств, достигается не только тщательной подготовкой соединяемых поверхностей шпона и величиной внешнего давления, но и толщиной слоеного пакета задаваемого величиной упрессовки. Это позволяет фольге из сплава придать текучесть, перераспределиться в клеевом слое и обеспечить равномерную заданную толщину «клеевой» прослойки и необходимое проникновение сплава на полезную глубину для обеспечения прочностных характеристик.
2. Роль механической адгезии в клеевых соединениях значима, а в данном случае, при соединении разнородных по физико-химическому составу материалов является определяющей, поскольку прочность обеспечивается «якорным зацеплением» разветвленной системы, проникшего в слой шпона связующего - сплава, в период предшествующий его отверждению.
3. Формирование «клеевой» прослойки между склеиваемыми материалами и образование адгезионно-когезионных связей – сложный процесс, каждую стадию которого необходимо регулировать, для получения требуемого качества слоистого материала специального назначения. Для этого важно знать не только полноту отверждения, но и характер, на-

растание и степень кристаллизации сплава, по которым можно судить о физико-механических свойствах слоистого материала.

#### Новизна исследований и научных результатов.

1. Получены математические модели, реально описывающие поверхность лущеного шпона. На основании выбранной модели и рассчитанной теоретическим путем толщины защитного слоя фольги из сплава ВУДа получена зависимость толщины связующего (сплава ВУДа) от структуры и качества поверхности шпона при создании конструкции слоистого материала специального назначения
2. Предложена методика оценки распределения сплава в клеевом слое слоистого материала специального назначения
3. Выбраны и обоснованы критерии эффективности процесса формирования конструкции слоистого материала специального назначения (двух конструкций), получены модели, связывающие их с управляющими факторами. Применение этих моделей позволяет установить рациональные технологические параметры получения слоистого материала, обладающего защитными свойствами от рентгеновского излучения.
4. Разработана конструкция слоистого материала, с применением в качестве связующего легкоплавкого сплава, обладающая защитными и декоративными свойствами (авторское свидетельство на полезную модель №10638 от 16 августа 1999 г).

#### Обоснованность выводов и рекомендаций

Достоверность предложений и выводов подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Выводы теоретического плана базировались на результатах математического анализа существа проблемы. Полученные в результате теоретических исследований зависимости согласуются с положениями таких основополагающих наук, как математическое моделирование и физико-математические процессы.

Результаты экспериментальных исследований контролировали по характеру зависимостей, полученных в результате обработки экспериментальных данных.

Регрессионные модели достаточно точно воспроизводят описываемые явления, а их адекватность подтверждается в соответствии с общепринятыми методиками.

#### Значимость результатов исследований для науки и практики

В диссертации приведены теоретические исследования закономерности формирования контакта связующего, в качестве которого использован легкоплавкий сплав ВУДа, с поверхностью лущеного березового шпона и распределения его в клеевом слое. Определено необходимое количество связующего для изготовления слоистого материала специального назначения на основе математической модели поверхности лущеного шпона, ко-

торое позволяет обеспечить достаточные прочностные и защитные свойства разработанной конструкции.

Разработаны рациональные технологические режимы создания слоистого материала специального назначения двух конструкций.

Применение предложенной конструкции слоистого материала специального назначения позволяет расширить ассортимент современных материалов, способных выполнять защитную роль от рентгеновского излучения, а также сократить время и затраты на оформление интерьеров, где применяется данный вид излучения, т.к. разработанный материал обладает высокими конструкционными, эксплуатационными и декоративными свойствами.

Место проведения. Работа выполнена на кафедре Механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета (г. Екатеринбург).

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на меж-областном семинаре рентгенологов, г. Екатеринбург, 1995г., на научно-практической конференции ученых и специалистов химико-лесного комплекса, г. Екатеринбург, 1997г., научно-технической конференции студентов и аспирантов УГЛТА, г. Екатеринбург, 2001г.

В конкурсе на лучший экспонат в рамках международной выставки-ярмарки «Архитектура. Строительство», «Лес. Деревообработка», г. Новокузнецк, 1998г., отмечен высокий уровень разработанной конструкции и технологии изготовления защитного слоистого материала.

За разработку конструкции слоистого материала специального назначения были получены дипломы в рамках выставки «Здравоохранение России-99», «Аптека-99», г. Екатеринбург, 1999г., II международной выставки технических средств обороны и защиты, г. Нижний Тагил, 2001г.

На конструкцию слоистого материала специального назначения с применением в качестве связующего сплава разработаны технические условия (ТУ 5540-001-02069243-00).

Результаты исследований апробированы на ЗАО «Этюд-Урал» (г. Екатеринбург), на ООО «Уральская мебель» (г. Екатеринбург), в Свердловском областном госпитале ветеранов войн (г. Екатеринбург).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 5 научных работах.

Объем диссертации и ее структура. Диссертация состоит из введения, 8 разделов, общих выводов, списка литературы, содержащего 88 наименований и приложения. Основной текст диссертации изложен на 190 страницах машинописного текста, включая 48 рисунков и 35 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научные положения, выносимые на защиту. Раскрывается научная новизна работы, значимость ее результатов для науки и практики. Содержатся данные о месте проведения и апробации работы, внедрения результатов в промышленность, структуре и объеме диссертации.

В первом разделе по литературным источникам приводятся общие сведения о рентгеновском излучении, о защитных материалах, применяемых для защиты от этого вида электромагнитного излучения и об основных требованиях, предъявляемых к защитным материалам.

Анализ работ показал, что наиболее перспективным направлением при разработке новых материалов, способных выполнять роль защиты от потока  $\gamma$ -квантов является создание композиционных материалов, в конструкциях которых в качестве несущей основы и защитного слоя выступают разнообразные материалы.

Древесина лиственных пород, благодаря пористому строению, а также высоким конструкционно-эксплуатационным, декоративным свойствам и тому, что это нетоксичный и экологически безопасный материал может использоваться в качестве несущей основы в подобных конструкциях.

Известно, что получать новые материалы на основе древесины с заранее заданными свойствами можно путем ее модификации, в частности, изготовлением армированной фанеры с заменой нескольких листов шпона листами фольги.

В результате анализа состояния вопроса и по предварительным проведенным поисковым опытам установлено, что при создании конструкции материала на основе древесины, обладающего защитными свойствами от рентгеновского излучения, в качестве защитного слоя целесообразно использовать легкоплавкий сплав ВУДа, поскольку он обладает хорошей жидкотекучестью при низкой температуре плавления ( $68^{\circ}\text{C}$ ), способен быстро затвердевать (кристаллизоваться) при понижении температуры и обладает защитными свойствами от рентгеновского излучения. Кроме того, вышеперечисленные свойства данного сплава позволяют использовать его в качестве связующего для соединения слоев лущеного березового шпона между собой в конструкции.

В результате анализа состояния вопроса было установлено, что для создания конструкции слоистого материала на основе древесины, обладающего защитными свойствами от рентгеновского излучения, необходимо исследовать процесс формирования контакта связующего (сплава ВУДа) с поверхностью лущеного шпона и распределения его в клеевом слое в зависимости от качества подготовки поверхности; определить объем

зазора при контакте листов шпона и количество связующего, необходимо для изготовления материала на основе математической модели поверхности лушеного шпона; основываясь на законах ослабления рентгеновского излучения теоретически рассчитать толщину защитного слоя материала; установить рациональные режимы создания конструкции; определить технико-экономическую эффективность выполненных исследований.

Во втором разделе рассматриваются теоретические предпосылки создания слоистого материала специального назначения с применением в качестве связующего легкоплавкого сплава ВУДа.

Защитные и конструкционно-эксплуатационные свойства слоистого материала, а также себестоимость его изготовления напрямую будут зависеть от расхода связующего (в данном случае, толщины слоя фольги).

Для обеспечения прочного клеевого соединения и достаточного уровня защитных свойств необходимое количество связующего расходовать на:

- создание сплошного «клеявого» слоя минимальной толщины;
- заполнение объема зазора между контактирующими поверхностями лушеного шпона;
- проникновение в граничные слои шпона;

Поскольку сплошной «клеявой» слой в разрабатываемой конструкции слоистого материала несет в себе основную защитную функцию, то для определения минимальной его толщины воспользуемся основным законом ослабления рентгеновского излучения:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (1)$$

где  $I_0$  и  $I$  - соответственно значение интенсивности пучка, падающего на вещество и дошедшего до глубины  $x$ ;  
 $\mu$  - линейный коэффициент ослабления вещества,  $\text{см}^{-1}$ ;  
 $x$  - толщина защитного слоя, см.

Линейный коэффициент ослабления определенного химического элемента пропорционален его плотности и оценивается массовым коэффициентом ослабления:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}, \quad (2)$$

где  $\mu_m$  - массовый коэффициент ослабления элемента,  $\text{см}^2/\text{г}$ ;  
 $\rho$  - плотность вещества,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Для вещества сложного химического состава имеем:

$$\mu_m = \mu_{m1}P_1 + \mu_{m2}P_2 + \dots + \mu_{mn}P_n, \quad (3)$$

где  $\mu_{m1} = \frac{\mu_1}{\rho_1}$ ;  $\mu_{m2} = \frac{\mu_2}{\rho_2}$ ; ...;  $\mu_{mn} = \frac{\mu_n}{\rho_n}$  - массовые коэффици-

циенты ослабления соответствующих частей;  
 $P_1, P_2, \dots, P_n$  - их относительные весовые количества.

Зная элементарный состав сплава ВУДа, получена зависимость величины линейного коэффициента ослабления фольги из сплава ВУДа от его толщины (рис.1).

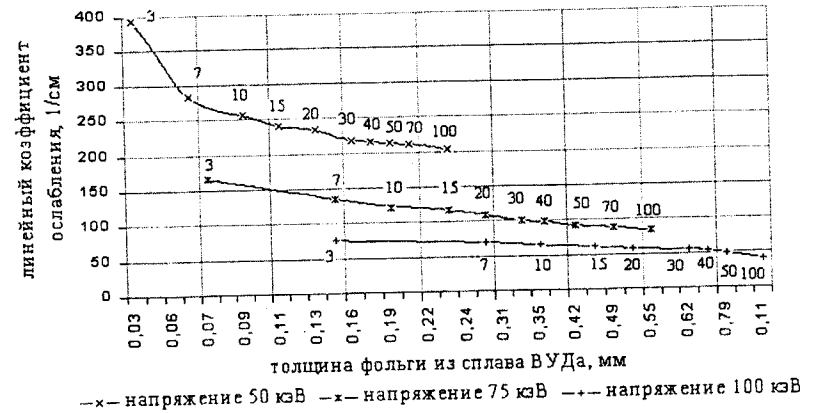


Рис.1 Зависимость линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения фольгой из сплава ВУДа от ее толщины (цифрами обозначена кратность ослабления рентгеновских лучей)

На рис.1 видно, что при рабочем напряжении 75 кВ и кратности ослабления рентгеновского излучения 40 толщина защитного слоя должна составлять не менее 0,36 мм, т.е. при создании трехслойной конструкции слоистого материала, имеющей два «клеявых» слоя, толщина каждого будет равна 0,18 мм.

Установлено, что поверхность лушеного шпона следует отнести к случайной анизотропной, ее профиль характеризуется профилограммой, которую можно представить как реализацию нормального стационарного случайного процесса. Распределение неровностей на поверхности лушеного шпона подчиняется математическому описанию:

- корреляционными функциями:

$$K_x(t) = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} \dot{x}(t)\dot{x}(t + \tau)dt, \quad (4)$$

- аппроксимирующими функциями второго типа (членами преобразования Лагерра):

$$\begin{cases} \rho(\tau) = e^{-\alpha\tau^2} \\ \rho(\tau) = e^{-\alpha\tau^2} \cos \omega\tau \\ \rho(\tau) = C_1 e^{-\alpha\tau^2} \cos \omega_1\tau + \cos \omega_2\tau \end{cases} \quad (5)$$

- кривой опорной поверхности, как одной из характеристик микрогеометрии шероховатой поверхности:

$$\eta_s = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{1-2\varepsilon}{2\sigma} \right) \right], \quad (6)$$

где  $T$  - длина профилограммы (2,5 мм по ГОСТ 7016-82);  
 $\tau$  - переменная разность между абсциссами двух сечений профилограммы;  
 $\dot{x}(t)$  - ординаты профилограммы в выбранной системе координат;  
 $\omega_i, \alpha$  - параметры аппроксимации корреляционных функций;  
 $\eta_s$  - относительная площадь сечения материала;  
 $\Phi$  - интеграл вероятностей;  
 $\varepsilon$  - относительное сближение,  
 $\sigma$  - стандартное отклонение профиля:

$$\sigma = \frac{h_{ck}}{R_{max}}, \quad (7)$$

где  $R_{max}$  - максимальная высота неровностей, мкм;  
 $h_{ck}$  - среднее квадратическое отклонение высоты неровностей от средней линии, мкм.

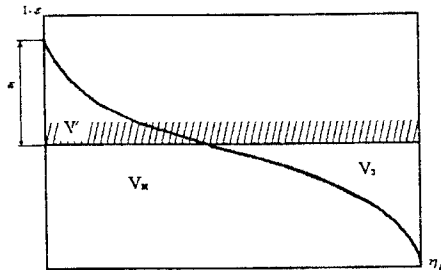


Рис.1 Схема расчета плотности стыка при контакте:  $V_m$  - объем материала, рассчитанный на единицу контурной площади контакта;  $V_z$  - объем зазора;  $V'$  - уменьшение объема материала за счет деформации выступов.

Расчет контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, выполненный по методике, предложенной в машиностроении, с использованием опорной поверхности, в достаточной степени отражает процесс контакта листов лущеного шпона в процессе склеивания (рис.2).

В результате установлено, что толщина фольги из легкоплавкого сплава ВУДа (с учетом того, что сплав проникает в граничные слои шпона на полезную глубину, которая в среднем составляет 0,3 мм) составляет от 0,299 до 0,305 мм (рис.3).

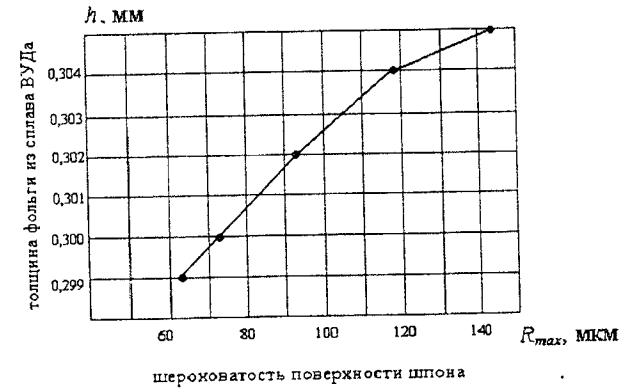


Рис.3 Зависимость толщины фольги из сплава ВУДа от величины шероховатости поверхности шпона при создании слоистого материала специального назначения

В третьем разделе рассматриваются направления исследований, содержатся основные методические положения проведения экспериментов и обработки их результатов, приводятся характеристики используемых материалов, применяемого оборудования и приборов.

В исследованиях использовался шпон березовый лущеный, удовлетворяющий по качеству требованиям ГОСТ 99-75 «Шпон лущеный». В качестве связующего применялись: фольга из легкоплавкого сплава ВУДа (толщиной  $0,3 \pm 0,02$  мм), контактный клей JOWAT 445 00 (Германия).

Исследования выполнялись в лабораторных и опытно-промышленных условиях. Оценка качества склеивания слоистого материала специального назначения осуществлялась по прочности склеивания в соответствии с ГОСТ 9624-93, ГОСТ 9625-87, ГОСТ 9622-87. Для оценки защитных свойств, через величину кратности ослабления, использовалась лабораторная установка на базе спектрометра 20050 фирмы «Роботрон».

Полученные опытные данные оценивались посредством первичной обработки результатов экспериментов методами математической статистики.

Для проведения многофакторных опытов с целью установления характера зависимости выходных параметров от отдельных управляющих факторов использовался классический эксперимент.

В четвертом разделе приведены результаты влияния шероховатости поверхности шпона на смачивающую способность расплавленного сплава ВУДа и распределения слоя сплава по толщине шпона в пакете слоистого материала специального назначения.

Исследования проводились с использованием классического эксперимента.

В ходе исследований выяснилось, что расплавленный сплав ВУДа не смачивает поверхность березового лущеного шпона, поэтому достичь адгезионной прочности между этими материалами в процессе создания конструкции слоистого материала, обладающего защитными свойствами от рентгеновского излучения можно только за счет действия сил механической адгезии. Увеличение неровностей поверхности шпона (до определенных пределов) положительно влияет на процесс взаимодействия сплава со шпоном, так как увеличивается площадь контакта между склеиваемыми поверхностями и наблюдается явление гистерезиса (асимметрии) капли, обусловленной выступами шероховатой поверхности.

Распределение связующего (сплава ВУДа) в зоне клеевого слоя слоистого материала специального назначения осуществлялось методом исследования структуры порового пространства. Для этого образцы слоистого материала размером 200×200 мм помещались в чашу Петри, в которой находилась культура грибка *Coniophora Cerebella*, паразитирующего на древесине. Чашу Петри с образцами материала и культурой помещали в термостат, обеспечивающий оптимальные условия для жизнедеятельности *Coniophora Cerebella* условия: температура 22-30 °С и влажностью 60-100 относительных процентов.

Через 2-4 недели, времени достаточного для полного разрушения древесного материала, полученный слепок очищали от продуктов жизнедеятельности *Coniophora Cerebella* погружением в воду. Слепок структуры порового пространства шпона, позволяющего судить о распределении сплава по толщине шпона, далее изучали с помощью бинокулярной лупы. Проведенный эксперимент позволил сделать следующие выводы:

- для склеивания березового лущеного шпона жидким сплавом характерно проникновение его в поры древесины в период, предшествующий его отверждению;
- проникший в поры древесины сплав распределяется по внутренним полостям, образуя своеобразную пространственную систему с различными ответвлениями разных размеров, и образует затвердевший прочный клеевой шов.

Для количественной оценки структурных элементов (толщины сплошного клеевого слоя и глубины проникновения сплава в толщу слоистого материала) исследования проводились методами рентгенографии (рис.4). Для этого из образцов слоистого материала выполнялись микро-срезы, толщиной  $0,2 \pm 0,01$  мм. Образцы укладывались по ходу рентгеновских лучей и отображались на рентгеновской пленке. С полученных фото-пленок, после увеличения изображения путем электронного сканирования, определялась глубина проникновения сплава в толщину шпона и толщина сплошного клеевого слоя.

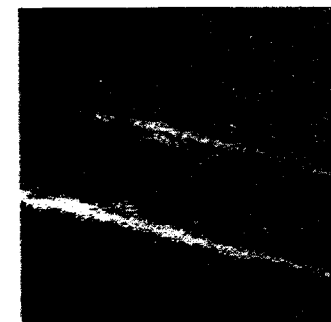


Рис.4 Распределение слоя сплава в слоистом материале специального назначения (сканированный снимок, увеличение в 15 раз)

В ходе исследований выяснилось, что слой фольги толщиной  $0,3 \pm 0,02$  мм в конструкции слоистого материала специального назначения распределяется следующим образом: толщина сплошного клеевого слоя колеблется в пределах от 0,175 до 0,181 мм, а глубина проникновения адгезива в толщину шпона от 0,29 до 0,33 мм, что достаточно точно согласуется с теоретическими расчетами.

В пятом разделе приведены результаты исследований влияния шероховатости поверхности шпона, толщины слоистого материала и времени прессования пакета при создании конструкции слоистого материала специального назначения с использованием в качестве связующего сплава ВУДа на его прочностные и защитные свойства.

По результатам экспериментальных данных были построены графические зависимости выходных параметров от управляющих факторов.

Увеличение толщины слоистого материала специального назначения от 3,5 до 4,5 мм уменьшает величину предела прочности при скалывании на 0,17 МПа и позволяет увеличить величину кратности ослабления рентгеновского излучения слоистым материалом от 34,1 до 42,1. Уменьшение шероховатости поверхности березового лущеного шпона от 120 до 60 мкм

повышает прочностные свойства конструкции на 0,25 МПа и увеличивает величину кратности ослабления рентгеновского излучения на 2,3. Время прессования пакета от 4 до 6 мин повышает прочность конструкции до 1,26 МПа, а на величину защитных свойств получаемой конструкции оказывает незначительное влияние (рис.5, рис.6).

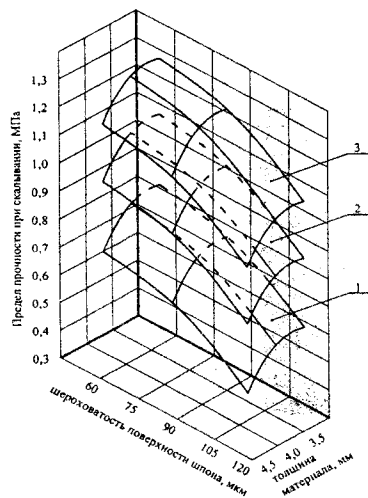


Рис.5 Зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою слоистого материала специального назначения от параметров шероховатости поверхности шпона и времени прессования пакета, где 1,2,3 - толщина слоистого материала специального назначения, соответственно 3,5; 4,0; 4,5 мм

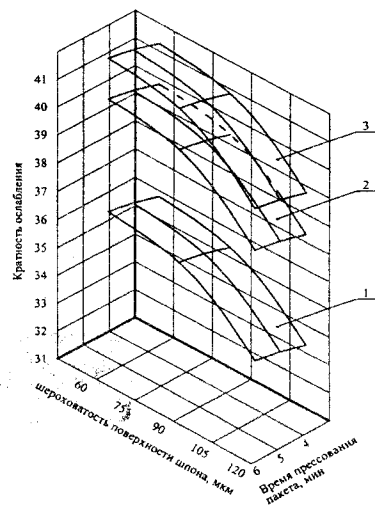


Рис.6 Зависимость кратности ослабления рентгеновского излучения слоистым материалом специального назначения от параметров шероховатости поверхности шпона и времени прессования пакета, где 1,2,3 - толщина слоистого материала специального назначения, соответственно 3,5; 4,0; 4,5 мм

Проведена статистическая обработка экспериментальных данных, на основании которых были получены уравнения регрессии второго порядка, адекватно описывающие прочностные и защитные свойства полученной конструкции слоистого материала специального назначения:

$$y_1 = 1,083 - 0,111x_1 - 0,084x_2 + 0,184x_3 - 0,068x_1^2 - 0,059x_2^2 - 0,081x_3^2 + 0,009x_1x_2 - 0,002x_1x_3 - 0,001x_2x_3; \quad (8)$$

$$y_2 = 118,962 - 4,479x_1 - 3,866x_2 + 7,326x_3 - 1,533x_1^2 - 2,99x_2^2 - 2,599x_3^2 + 0,418x_1x_2 - 0,314x_1x_3; \quad (9)$$

$$y_3 = 91,18 - 2,253x_1 - 2,092x_2 + 2,91x_3 - 0,255x_1^2 - 0,181x_2^2 - 1,022x_3^2 + 0,335x_1x_2 + 0,299x_1x_3 + 0,285x_2x_3; \quad (10)$$

$$y_4 = 40,514 - 1,11x_1 + 2,694x_2 + 0,108x_3 - 0,98x_1^2 - 1,271x_2^2 - 0,159x_3^2 - 0,13x_1x_2 - 0,47x_1x_3 + 0,297x_2x_3. \quad (11)$$

Формулы (8,9,10,11) справедливы для условий:

$$x_1 = 60 \div 120 \text{ мкм}; \quad x_2 = 3,5 \div 4,5 \text{ мм}; \quad x_3 = 4 \div 6 \text{ мин}.$$

где  $y_1$  - предел прочности слоистого материала при скалывании по клеевому слою, МПа;

$y_2$  - предел прочности слоистого материала при статическом изгибе вдоль наружных слоев, МПа;

$y_3$  - предел прочности слоистого материала при растяжении вдоль волокон, МПа;

$y_4$  - кратность ослабления рентгеновского излучения;

$x_1$  - шероховатость поверхности шпона, мкм;

$x_2$  - толщина слоистого материала специального назначения, мм;

$x_3$  - время прессования пакета, мин.

Полученные математические модели использовались для определения рациональных значений создания конструкции слоистого материала специального назначения, с помощью диссоциативно-шагового способа исследования и метода условного центра масс.

Рациональные значения параметров создания конструкции слоистого материала:

- шероховатость поверхности шпона, мкм – 60;
- толщина слоистого материала, мм – 3,8;
- время прессования пакета, мин – 6.

Полученные значения параметров позволяют получить слоистый материал, обладающий следующими прочностными и защитными свойствами:

- предел прочности при скалывании, МПа – 1,26;
- предел прочности при статическом изгибе, МПа – 120,5;
- предел прочности при растяжении, МПа – 95,6;
- кратность ослабления рентгеновского излучения – 39,6.

В шестом разделе приведены исследования влияния толщины слоистого материала специального назначения и толщины фольги, входящей в его состав в зависимости от величины рабочего напряжения на электродах



рентгеновской трубки. Оценка защитных свойств осуществлялась через кратность ослабления рентгеновского излучения и линейный коэффициент ослабления. Результаты расчета приведены на рис.7, рис.8

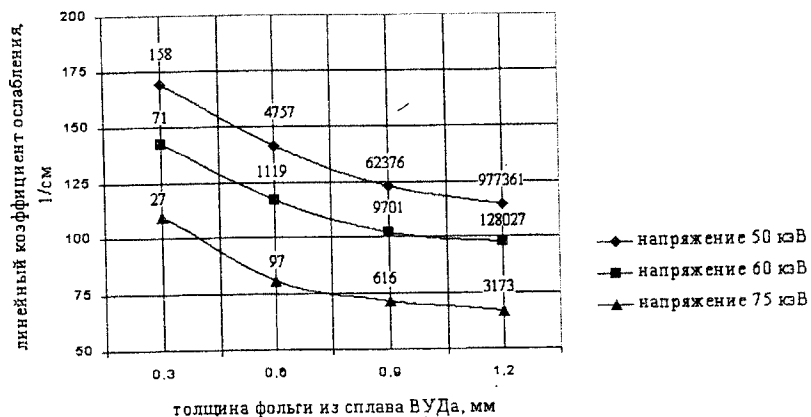


Рис.7 Зависимость линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения фольгой из сплава ВУДа от ее толщины (цифрами обозначена кратность ослабления рентгеновского излучения)

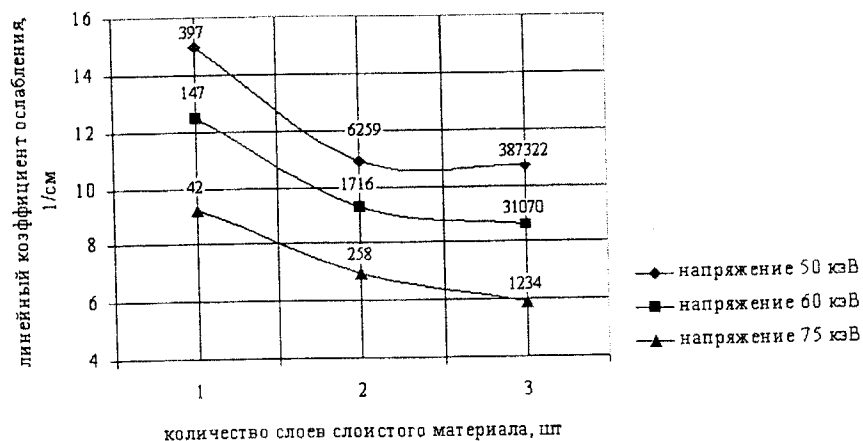


Рис.8 Зависимость линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения слоистым материалом от количества его слоев (цифрами обозначена кратность ослабления рентгеновского излучения)

На основании результатов исследований сделаны следующие выводы:

- увеличение интенсивности потока рентгеновских лучей снижает защитные свойства исследуемых материалов, что объясняется тем, что с увеличением рабочего напряжения от 50 до 75 кВ происходит уменьшение длины рентгеновской волны и увеличение ее проникающей способности;
- увеличение толщины фольги из легкоплавкого сплава ВУДа (рис.7) и количества слоев слоистого материала специального назначения (рис.8) увеличивает величину кратности ослабления рентгеновского излучения и уменьшает величину линейного коэффициента ослабления, что справедливо для основного закона ослабления ионизирующего излучения;
- защитные свойства фольги из сплава ВУДа выше защитных свойств слоистого материала специального назначения, т.к в процессе создания конструкции слоистого материала часть фольги расходуется на проникновение в толщину шпона и заполнение неровностей поверхности лушеного шпона.

В седьмом разделе с целью расширения возможности и доступности изготовления слоистого материала на основе древесины, обладающего защитными свойствами от рентгеновского излучения на любом деревообрабатывающем предприятии, имеющем прессовое хозяйство, и сокращения трудозатрат на охлаждение прессуемого пакета приводятся исследования по созданию подобной конструкции слоистого материала, в которой фольга из сплава ВУДа приклеивается к листам шпона с применением контактного клея.

Результаты реализации эксперимента по плану второго порядка для пяти исследуемых факторов позволили, после статистической обработки опытных данных, получить модель создания конструкции слоистого материала в виде следующих регрессионных зависимостей:

$$\begin{aligned}
 y_1 = & 1,287 + 0,125 x_1 + 0,041 x_2 + 0,049 x_3 + 0,022 x_4 + \\
 & + 0,014 x_5 - 0,043 x_1^2 - 0,083 x_2^2 - 0,044 x_3^2 - 0,026 x_4^2 - \\
 & - 0,056 x_5^2 + 0,012 x_1 x_2 - 0,0035 x_1 x_3 + 0,075 x_1 x_4 + \\
 & + 0,064 x_1 x_5 - 0,063 x_2 x_3 - 0,051 x_2 x_4 + 0,111 x_2 x_5 + \\
 & + 0,098 x_3 x_4 - 0,013 x_3 x_5 + 0,009 x_4 x_5 ;
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

18

$$y_2 = 109,137 + 5,048x_1 + 7,82x_2 + 3,743x_3 + 0,855x_4 + 4,921x_5 - \\ - 0,605x_1^2 - 3,533x_2^2 - 2,881x_3^2 - 2,453x_4^2 - 0,535x_5^2 + 1,201x_1x_2 + \\ + 1,294x_1x_3 - 0,919x_1x_4 + 1,695x_1x_5 - 0,514x_2x_4 - 1,322x_2x_5 - \\ - 0,946x_3x_4 + 2,116x_3x_5 + 0,348x_4x_5; \quad (13)$$

$$y_3 = 113,333 + 4,693x_1 + 8,208x_2 + 2,55x_3 + 0,911x_4 + 3,734x_5 - \\ - 1,68x_1^2 - 4,237x_2^2 - 5,95x_3^2 - 5,842x_4^2 - 3,582x_5^2 + 1,914x_1x_2 + \\ + 0,77x_1x_3 + 0,233x_1x_4 + 3,216x_1x_5 - 1,219x_2x_3 - 0,103x_2x_4 + \\ + 0,323x_2x_5 - 0,708x_3x_4 - 0,122x_4x_5; \quad (14)$$

$$y_4 = 97,196 + 0,581x_1 - 1,585x_2 + 0,298x_3 + 0,661x_4 + 0,343x_5 - \\ - 0,645x_1^2 - 1,12x_2^2 - 0,67x_3^2 - 1,07x_4^2 - 0,737x_5^2 - 0,804x_1x_2 + \\ + 0,973x_1x_3 + 0,429x_1x_4 + 0,013x_1x_5 - 0,675x_2x_4 - 0,027x_2x_5 + \\ + 0,121x_3x_4 + 0,579x_3x_5 + 0,665x_4x_5; \quad (15)$$

Формулы (12,13,14,15) справедливы для условий:

$$x_1 = 20 \div 50 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad x_2 = 0,5 \div 1,5 \text{ МПа}; \quad x_3 = 8 \div 12 \text{ мин}; \quad x_4 = 50 \div 70 \text{ г/м}^2; \quad x_5 = 4 \div 6 \text{ мин.}$$

где  $x_1$  - температура плит пресса,  $^\circ\text{C}$ ;

$x_2$  - давление плит пресса, МПа;

$x_3$  - время открытой выдержки пакета, мин;

$x_4$  - расход клея, г/м<sup>2</sup>;

$x_5$  - время выдержки пакета под давлением, мин.

Анализ и графическая интерпретация полученных результатов позволили сделать вывод о сложном влиянии переменных факторов на функции отклика. Выбор значений показателей эффективности создания конструкции слоистого материала специального назначения, с применением в качестве связующего контактного клея, был установлен путем поиска экстремальных значений выходных параметров и принятия компромиссного решения методом условного центра масс.

В результате реализации получены следующие значения функций отклика:  $y_1 = 1,48$  МПа;  $y_2 = 123,4$  МПа;  $y_3 = 122,7$  МПа;  $y_4 = 96,85$ .

Параметры управления, обеспечивающие данные результаты в итоге приняли значения: температура плит пресса – 50  $^\circ\text{C}$ ; давление плит пресса – 1,2 МПа; время открытой выдержки пакета – 11 мин; расход клея – 64 г/м<sup>2</sup>; время выдержки пакета под давлением – 6 мин.

В восьмом разделе приводится расчет технико-экономической эффективности внедрения конструкции слоистого материала специального

19

назначения, с применением в качестве связующего сплава ВУДа, в промышленное производство. Установлено, что средняя себестоимость изготовления 1 м<sup>2</sup> слоистого материала за период реализации проекта (5 лет) составляет 3036,5 руб., расчетная цена при рентабельности производства 23,9 % - 3800 руб.

Чистая прибыль от реализации слоистого материала специального назначения при объеме производства в год освоения проекта 500 м<sup>2</sup> с последующим увеличением до 1000 м<sup>2</sup> в год составит 2611,2 тыс. руб. Срок окупаемости инвестиционного проекта 1,5 года (в ценах на 01.04.03 г.).

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Лущеный березовый шпон, благодаря пористому строению, может использоваться в качестве несущей основы в конструкциях слоистых материалов, а включение в их состав разнообразных материалов, позволяет придавать конструкции заранее заданные свойства и тем самым расширять область применения древесины.
2. Легкоплавкий сплав ВУДа, обладающий хорошей жидкотекучестью при низкой температуре плавления (68  $^\circ\text{C}$ ) и способностью быстро затвердевать при понижении температуры, а также защитными свойствами от рентгеновского и мягкого  $\gamma$ -излучения может использоваться в конструкции слоистого материала специального назначения одновременно в качестве связующего и защитного слоя.
3. Реальная поверхность лущеного шпона математически описывается при помощи следующих характеристик:
  - профилограммы, как реализация нормального стационарного случайного процесса в виде корреляционных и аппроксимирующих функций второго порядка;
  - кривой опорной поверхности шпона.
4. Теоретически, с помощью кривой опорной поверхности шпона и основываясь на законах ослабления рентгеновского излучения, рассчитано, и экспериментально подтверждено, что толщина фольги при создании трехслойной конструкции слоистого материала специального назначения должна составлять не менее 0,3 мм (при условии ослабления потока рентгеновских лучей в 40 раз и рабочем напряжении 75 кэВ).
5. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что фольга из сплава ВУДа в процессе создания конструкции слоистого материала специального назначения расходуется на заполнение неровностей на поверхности шпона, для создания сплошного клеевого слоя и проникновения в граничные слои шпона с целью создания адгезионного контакта между листами шпона и уровня защитных свойств.
6. Адгезионная прочность при соединении разнородных по физико-химическому составу материалов объясняется силами механической ад-

гезии и обусловлена «якорным зацеплением» разветвленной системы, проникшего в толщину шпона сплава, в период предшествующий его отверждению.

7. Определены рациональные параметры, при соблюдении которых получается слоистый материал специального назначения (двух конструкций), обладающий прочностными и защитными свойствами. Они соответствуют следующим значениям:
  - для конструкции 1 (в качестве связующего использован сплав ВУДа): предел прочности при скалывании по клеевому слою; 1,26 МПа, предел прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев 120,5 МПа, предел прочности при растяжении вдоль волокон 95,6 МПа, кратность ослабления рентгеновского излучения 39,6;
  - для конструкции 2 (в качестве связующего использован контактный клей): предел прочности при скалывании по клеевому слою 1,48 МПа, предел прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев 123,4 МПа, предел прочности при растяжении вдоль волокон 122,7 МПа, кратность ослабления рентгеновского излучения 96,8.
8. Получены рациональные режимы создания слоистого материала специального назначения для двух конструкций:
  - для конструкции 1: шероховатость поверхности шпона 60 мкм, толщина слоистого материала специального назначения 3,8 мм, время прессования пакета 6 мин, температура плит пресса  $100 \pm 5$  °С, давление плит пресса  $1,5 \pm 0,1$  МПа;
  - для конструкции 2: температура плит пресса 50 °С, давление плит пресса 1,2 МПа, время открытой выдержки ~11 мин, расход клея ~ 64 г/м<sup>2</sup>, время выдержки пакета под давлением 6 мин.
9. Разработанные технологические режимы создания конструкций слоистого материала специального назначения максимально приближены к традиционным технологиям получения плитных материалов из шпона.
10. Разработанные конструкции слоистого материала специального назначения обладают достаточной эффективностью ослабления рентгеновского и мягкого  $\gamma$ -излучения и наряду с традиционными защитными материалами (свинца, просвинцованной резины, барита и др.) целесообразно использовать в качестве конструкционного материала для защиты стен, полов, потолков, оконных проемов и т.п. Значение свинцового эквивалента слоистого материала (конструкция 1) составляет 0,8 Рв/слой материала (санитарно-эпидемиологическое заключение №33 от 25.01.01).
11. Разработанная конструкция слоистого материала специального назначения с применением в качестве связующего сплава ВУДа, является экологически безопасной (заключение центра государственного эпиде-

миологического надзора Свердловской области  
№66.01.10.554П.000127.0 от 27.03.01)

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Ветошкин Ю.И., Дружинин А.В., Яцун И.В. Слоистый материал с защитными свойствами.// Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса/ Тез. докл. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: УГЛТА, 1997. – С.55.
2. Слоистый материал. Авторское свидетельство на полезную модель №10638 от 16.08.99.
3. Яцун И.В., Кудряшова Н.В., Горшунова Н.Д. Конструкционно-слоистый материал с защитными свойствами.// Материалы науч.-технич. конф. студентов и аспирантов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. – С.47.
4. Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Соболева С.В. Декоративный защитный материал для рентгекabinetов.// Журн. Домострой. – Екатеринбург: Изд-во ООО «Диалог-дизайн», 2001.- №12. С.16.
5. Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Соболева С.В. Прогрессивный облицовочно-конструкционный материал для рентгеновских кабинетов // Электрон. журн. Технология качества жизни – Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. - т.1, №2. С.49.

Подп. в печать 2011.03.03, объем 1 п.л., заказ 734. Тираж 100 экз.

620032, Екатеринбург, Сибирский тр., 37.

Уральский государственный лесотехнический университет.

Отдел оперативной полиграфии