

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

На правах рукописи

Яцун Ирина Валерьевна

**ФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ С РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Специальность 05.21.05 – Древесиноведение, технология
и оборудование деревопереработки

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук,
профессор Гороховский А.Г.

Екатеринбург 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	13
1.1 Общие понятия о композиционных материалах	13
1.2 Композиционные материалы на основе древесины	14
1.2.1 Клееная фанера	16
1.2.2 Древесно-слоистые пластики (ДСП)	20
1.2.3 Столярные плиты	24
1.2.4 Древесно – композиционные материалы (древолит)	25
1.3 Плитные материалы из древесно – полимерных композиций ...	28
1.4 Основные сведения о рентгеновском излучении и рентгено- защитных материалах	38
1.5 Рентгенозащитные свойства древесины	43
1.6 Основные выводы. Задачи исследований	50
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ	52
2.1 Характеристика предлагаемых древесных композиционных материалов	52
2.2 Особенности формирования композиционных материалов на основе лущеного шпона.....	55
2.2.1 Определение микрогеометрии поверхности лущеного шпона	55
2.2.2 Определение толщины армирующего слоя, обеспечиваю- щего физико-механические и рентгенозащитные свойства материалу	66
2.3 Особенности формирования плитных композиционных материа- лов на основе древесных частиц.....	76
2.3.1 Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена.....	76

2.3.2 Расчет тепло- и массопереноса на основе введения внутренних объемных коэффициентов тепло- и массообмена.....	87
2.4 Оценка прочностных показателей композиционных древесных материалов с рентгенозащитными свойствами.....	96
2.4.1 Математическое описание поведения пластин в момент нахождения их под действием нагрузки.....	96
2.4.2 Моделирование соотношения «напряжение – деформация» древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами.....	104
2.5 Выводы по главе.....	113
3 МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	117
3.1 Исходные материалы и их характеристика	117
3.1.1 Характеристика применяемых древесных материалов.....	117
3.1.2 Характеристика применяемого наполнителя.....	118
3.1.3 Характеристика применяемых адгезивов	119
3.1.4 Характеристика рентгенозащитного слоя.....	123
3.2 Характеристика применяемого оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры.....	124
3.3 Методика проведения экспериментальных исследований	126
3.3.1 Определение предела прочности при скалывании по клеевому слою.....	126
3.3.2 Определение предела прочности при статическом изгибе	127
3.3.3 Определение предела прочности при растяжении вдоль волокон.....	128
3.3.4 Определение плотности.....	129
3.3.5 Определение степени разбухания по толщине и водопоглощение.....	130
3.3.6 Определение токсичности.....	131

3.3.7	Определение твердости по Бринеллю	132
3.3.8	Определение ударной вязкости	133
3.3.9	Определение рентгенозащитных свойств	135
3.4	Методика статистической обработки полученных эксперимен- тальных данных	136
3.5	Определение рациональных значений исследуемых параметров	143
4.	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО ШПОНА	144
4.1	Постановка задачи	144
4.2	Исследование процесса формирования материала «Фанотрен А»	144
4.2.1	Исследование влияния качества подготовки поверхности шпона на смачивающую способность применяемого адгезива	144
4.2.1.1	Планирование эксперимента	144
4.2.1.2	Результаты эксперимента и его анализ	146
4.2.2	Исследование влияния режимов формирования материала на его физико – механические свойства	147
4.2.2.1	Планирование эксперимента.....	147
4.2.2.2	Результаты эксперимента и его обработка.....	150
4.2.2.3	Построение математических моделей	151
4.2.2.4	Решение задачи оптимизации.....	154
4.2.2.5	Определение рациональных значений режимных параметров формирования материала	156
4.2.3	Исследование распределение связующего в зоне клеевого контакта.....	159
4.2.3.1	Постановка эксперимента	159
4.2.3.2	Результаты эксперимента и его анализ.....	162
4.3	Исследование процесса формирования материала «Фанотрен Б»	164

4.3.1	Разработка рецептуры пропитывающей композиции	164
4.3.1.1	Планирование эксперимента	164
4.3.1.2	Результаты эксперимента его обработка и анализ	168
4.3.2	Исследование процесса интенсификации сушки рентгенозащитного слоя	169
4.3.2.1	Планирование эксперимента	169
4.3.2.2	Результаты эксперимента и его анализ	170
4.3.3	Исследование влияния режимов формирования материала на его физико – механические свойства	171
4.3.3.1	Планирование эксперимента	171
4.3.3.2	Результаты эксперимента и его обработка	173
4.3.3.3	Построение математических моделей	174
4.3.3.4	Решение задачи оптимизации	176
4.3.3.5	Определение рациональных значений режимных параметров формирования материала	177
4.3.4	Исследование степени разбухания по толщине и водопоглощение	181
4.3.4.1	Планирование эксперимента	181
4.3.4.2	Результаты эксперимента и его обработка	181
4.4	Исследование рентгенозащитных свойств материалов «Фанотрена А» и «Фанотрен Б»	182
4.4.1	Постановка эксперимента	182
4.4.2	Результаты эксперимента	183
4.5	Выводы по главе	184
5.	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ	187
5.1	Постановка задачи	187
5.2	Исследование влияния количества наполнителя в древесно – клеевой композиции на физико-механические свойства материалов	187

5.2.1	Планирование эксперимента	187
5.2.2	Результаты эксперимента и его обработка	189
5.3	Оптимизация процесса формирования материалов	194
5.3.1	Планирование эксперимента	194
5.3.2	Результаты эксперимента и их обработка	196
5.3.3	Построение математических моделей	197
5.3.4	Решение задачи оптимизации	200
5.4	Исследование влияния количества компонентов древесно- клеевой композиции на рентгенозащитные свойства материалов	202
5.4.1	Постановка эксперимента	202
5.4.2	Результаты эксперимента и его анализ	204
5.5	Исследование токсичности материалов	205
5.6	Исследование микроструктуры материалов	206
5.7	Выводы по главе	209
6.	ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ	212
6.1	Технологические особенности производства предлагаемых материалов	212
6.2	Расчет экономических показателей производства предлагаемых материалов	213
6.3	Сравнительный анализ предлагаемых материалов по комплексу свойств	224
6.4	Выводы по главе	230
	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	231
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	236
	ПРИЛОЖЕНИЯ	265

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Технический прогресс порождает необходимость разработки и создания новых материалов. Одним из основных способов их создания, на сегодня, является комбинирование различных известных материалов. Поэтому большинство современных материалов представляют собой композиции, которые позволяют изделиям обладать определенным сочетанием заранее задаваемых свойств. Совместная работа разнородных элементов, входящих в состав композита, дает эффект, равносильный созданию нового материала, свойство которого и количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих.

Древесные композиционные материалы – это материалы, которые наполнены древесиной в различных ее видах. В настоящее время к древесным композитам относят: модифицированную древесину, материалы полученные на основе лущеного шпона, а также и материалы, наполненные древесными частицами.

Древесные композиционные материалы нашли широкое использование в строительстве, производстве мебели и тары, машиностроении и др. отраслях промышленности. Области использования таких материалов и изделий на их основе постоянно расширяются. Способствует этому такие факторы, как возобновляемость древесины, необходимость рационального использования отходов лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, растущий спрос потребителей на экологически чистые и безопасные материалы.

Одним из наиболее перспективных направлений этой задачи в настоящее время является создание древесных композиционных материалов на основе древесины и древесных отходов, обладающих специальными свойствами, в частности рентгенозащитным. Таким образом, проблема создания древесных композиционных материалов на основе лущеного шпона и древесных частиц, обладающих специальными свойствами представляется актуальной и своевременной.

Степень разработанности темы исследования. Разработкой композиционных материалов на основе древесины занимались такие ученые, как А.Н. Минин, Н.Т. Романов, Н.Я. Солечник, В. Н. Петри, В.А. Шамаев, Р.Г. Сафин, С.А. Угрюмов, А.А. Аксомитный и др. Исследованиям рентгенозащитных свойств древесины посвящены работы А.П. Берсенева, А.Г. Фокина, Ю.И. Щеткина, Л.М. Исаева, Ю.И. Щетинина, Л.Н. Исаева. Анализу взаимодействия древесины и нейтронных потоков малых и средних энергий посвящены работы В.И. Патыкина, А.Р. Бирмана, Ю.Д. Силукова. Разработкой фанеры для рентгенодиагностических аппаратов занималась Н.Ю. Шорникова.

Цель работы. Повышение эффективности производства и расширения области применения древесных композиционных материалов.

Предмет исследования. Закономерности процесса формирования композиционных материалов на основе лущеного шпона и древесных частиц, обладающих рентгенозащитными свойствами.

Объект исследования. Древесные композиционные материалы, обладающие рентгенозащитными свойствами.

Научной новизной обладают:

1. Результаты моделирования процесса контактного взаимодействия поверхностей шпона в процессе формирования древесного композиционного материала с применением адгезива на основе легкоплавкого сплава;
2. Результаты компьютерного моделирования процесса формирования древесного композиционного материала на основе порошкового связующего;
3. Результаты компьютерного моделирования состояния «напряжение – деформация» древесных композиционных материалов, обладающих рентгенозащитными свойствами;
4. Математические модели зависимостей физико-механических свойств материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» от режимных параметров их получения и материалов «Плитотрен» и «DS-1» от их рецептуры;

5. Рациональные значения режимных параметров формирования материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» и значения количества исходных компонентов в рецептуре материалов «Плитотрен» и «DS-1».

Теоретическая значимость:

- математически описано распределение неровностей на поверхности лущеного корреляционными и аппроксимирующими функциями Лаггера второго типа;

- математически описан процесс контактного взаимодействия между листами лущеного шпона в процессе их склеивания с использованием кривой опорной поверхности;

- математически описаны процессы тепломассопереноса в процессе прессования композиционных материалов на основе древесных частиц с использованием системы ДУЧП при контактном нагреве влажного пористого тела с введением внутренних коэффициентов тепло- и массообмена.

- математически описано напряженно – деформированное состояние разработанных древесных композиционных материала с использованием теории изгиба пластин определяющее их жесткостно – прочностные показатели.

Практическая значимость:

- разработана технология получения листового проката на основе легкоплавкого сплава для армирования композиционного материала;

- разработана рецептура рентгенозащитной пропитывающей композиции для РЗС (материал Фанотрен Б);

- разработаны рецептуры древесно - клеевой композиции для формирования композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1»;

- разработаны технологии получения рентгенозащитных древесных композиционных материалов.

Методы исследования. При выполнении работы использованы следующие методы:

- наименьших квадратов и кривой опорной поверхности для характеристики микрогеометрии поверхности лущеного шпона;
- метод конечных разностей для описания процессов теплопереноса в процессе горячего прессования материалов на основе древесных частиц;
- метод конечных элементов для определения жесткостно – прочностных показателей предлагаемых материалов;
- метод электронного сканирования и микросъемки для исследования внутренней структуры материалов;
- метод фотометрической контрастности изображения по рентгенопрозрачности и фотометрической контрастности изображения на рентгенограмме для определения защитных свойств материалов;
- стандартные методики определения физико-механических свойств материалов, согласно ГОСТ 9621-72, ГОСТ 9625-87, ГОСТ 9624-2009, ГОСТ 9622-87, ГОСТ 10634-88, ГОСТ 10635-88, ГОСТ 10634-88, ГОСТ 11842-76, ГОСТ 11843-76, ГОСТ 9012-59, ГОСТ 276787-88, ГОСТ 16483.14-72.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. В процессе формирования древесного композиционного материала «Фанотрен А» с применением в качестве связующего легкоплавкого сплава роль механической адгезии является определяющей, т.к. при соединении разнородных по физико-химическому составу материалов прочность клееного соединения обеспечивается «якорным зацеплением» разветвленной структуры, проникшего во внутренние слои шпона связующего в период предшествующий его затвердеванию.
2. Механизм формирования древесного композиционного материала «Плитотрен» заключается в поэтапном введении связующего в процессе приготовления древесно-клеевой композиции. Этим достигается ее однородность, улучшение контактного взаимодействия между древесными частицами и частицами наполнителя и повышение рентгенозащитных защитных свойств материала.

3. В процессе прессования древесного композиционного материала на порошковом связующем относительно малые величины давления парогазовой смеси и его градиента обуславливают незначительный перенос тепла в плоскости плиты за счет конденсации и конвекции, что уменьшает скорость прогрева прессуемого пакета. Это приводит к увеличению продолжительности выдержки под давлением и к уменьшению времени снижения давления.

4. В процессе формирования древесного композиционного материала «DS-1» порошковое связующее, расплавляясь, обволакивает древесные частицы и равномерно распределяет частицы наполнителя, что способствует повышению его рентгенозащитных свойств.

5. Поведение древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами, в момент нахождения их под нагрузкой описывается уравнением Софи-Жермен.

Достоверность результатов. Результаты исследований основаны на использовании фундаментальных положений теории вероятности, теории прессования древесностружечных плит, теории изгиба пластин, теории ослабления электромагнитного излучения, вероятностно – статистических методах, методах оценки случайных погрешностей в измерениях, методах моделирования в научных исследованиях. Достоверность результатов исследований по определению рецептуры пропитывающей композиции для рентгенозащитного слоя (РЗС), входящего в состав материала «Фанотрен Б», состав древесно-клеевой композиции для материалов «Плитотрен» и «DS-1», а также физико-механические свойства полученные по расчетным моделям подтверждается применением методов математической статистики для обработки опытных данных, оценкой погрешностей и экспериментальной проверкой этих данных и положительными результатами промышленной апробации.

Апробация работы. Результаты работы доложены, обсуждены и получили положительные оценки на семинаре рентгенологов Свердловской области (г. Екатеринбург 1995 г.); на VII и IX всероссийских научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному

комплексу России» (г. Екатеринбург 2011, 2013 г.г.); на XII, IX, XII и XIV Международном Евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (г. Екатеринбург 2012, 2014, 2017, 2019 г.г.); на Международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (г. Воронеж 2014 г.).

Разработанные древесные композиционные материалы были представлены на Международной выставке-ярмарке «Архитектура. Строительство», «Лес. Деревообработка» (г. Новокузнецк 1998 г.); выставках «Здравоохранение России-99», «Аптека-99» (г. Екатеринбург 1999 г.), «Строительный комплекс Большого Урала» (г. Екатеринбург 2006 г.); Международной выставке «Технические средства обороны и защиты» (г. Нижний Тагил 2001 г.); V Специализированной межрегиональной выставке-ярмарке «Лесной комплекс» (г. Екатеринбург, 2003 г.).

Результаты исследований апробированы на ЗАО «Этюд-Урал» (г. Екатеринбург), ООО «БиКдрев» (г. Екатеринбург) и Свердловском областном психоневрологическом госпитале для ветеранов войн (г. Екатеринбург).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 48 печатных работ, из них 1 статья в издании Web of Science, 12 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 патента и 3 монографии.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа включает введение, шесть глав, основные выводы и рекомендации результатов исследований, библиографический список, включающего 305 наименования и 42 приложения. Общий объем работы 313 страниц, в том числе 264 страницы основного текста, 99 рисунков и 84 таблицы, 49 страниц приложений.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Общие понятия о композиционных материалах

Практически любой материал, разработанный в современных условиях, является композиционным (от лат. compositio - составление). Это материалы, полученные из 2-х и/или более разнородных фаз и имеющие свойства, которые не присущи исходным компонентам, входящим в композицию [1, 2, 3]. Армирующие элементы композита, как правило, обеспечивают механические характеристики материала, а матрица (или адгезив) – обеспечивает совместную работу армирующих элементов. То есть, главным условием композиционного материала (КМ) является наличие четко выраженной границы раздела между матрицей и армирующими элементами [4, 5].

Подбирая состав матрицы и армирующих элементов, их процентное соотношение и направление наполнителя получают композиты с необходимым сочетанием эксплуатационных и технологических характеристик.

Композиты [2] – это материалы:

- не встречающиеся в природе;
- состоящие из 2-х и/или более компонентов с четким разделением границ и взаимно нерастворимыми компонентами;
- обладающие свойствами, отличающимися от свойств исходных компонентов матрицы и армирующего элемента;
- обладающие неоднородностью структуры в микромасштабе и однородностью в макромасштабе;
- имеющие заранее запланированные по форме, соотношению и распределению компоненты, входящие в композицию;

В настоящее время известно множество способов получения композитов. Наиболее популярны - прокатка, прессование, спекание твердых заготовок или зернистых частиц, отверждение или полимеризация массы, в которую погружены наполнители.

1.2 Композиционные материалы на основе древесины

Древесина – один из наиболее распространённых на планете Земля композиционных материалов, полученных естественным путем. Это слоисто-волокнистый композит, который является пористой системой [1]. Клеточная стенка - наиболее важный элемент этой системы. Она образуется при соединении лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы. Лигнин - бесформенная матрица, целлюлозы - наполнитель (образует сетчатый пространственный каркас), гемицеллюлоза – связывает все компоненты системы воедино. Взаимно нерастворимые высокомолекулярные соединения придают древесине те свойства, которыми ни обладает, ни один из элементов входящих в эту систему, т.к. на границе разделения фаз «целлюлоза – лигнин» происходят сложные физико-химические взаимодействия [6,7].

В первую очередь – древесина достаточно легкий и прочный материал, обладающий повышенной эстетичностью. Во вторых – древесина способна «дышать», т.е. набирать и отдавать влагу, однако она не устойчива к бактериальным и грибковым поражениям. Эти факторы во многом определяются породой древесины и ареалом ее обитания [8].

Научно доказано, что одним из недостатков древесины является ее анизотропия. Одним из вариантов решения этой проблемы является создание древесных композиционных материалов, т.е. материалов с заданными свойствами. Конструктивные и технологические особенности получения подобных материалов позволяют создавать продукты, которые либо лишены этих свойств, либо слабо они проявляются [9].

Композиты на основе древесины – это материалы, состоящие из древесины или ее частиц и одного или нескольких компонентов (полимера, минерала и др.) [3].

Производство древесных композиционных материалов является сравнительно новой и динамично развивающейся отраслью переработки древесины. Эта отрасль возникла в связи с дефицитом древесины, и как следствие –

ростом цен на нее, а также стремлением максимально эффективно использовать отходы деревопереработки [3].

По виду наполнителя выделяют три группы древесных композиционных материалов (ДКМ) [3]:

- модифицированная древесина – производится из пиленой продукции путем ее предварительной пропитки;

- древесно-слоистые пластики (ДСП) – производятся при высокотемпературном воздействии, при этом за основу берутся листы шпона толщиной $0,55 \div 1,5$ мм, а в качестве адгезива применяются новолачные смолы;

- материалы, наполненные дискретными частицами – производятся при высокотемпературном воздействии, при этом за основу берется древесное волокно, стружка, опилки и прочие древесные частицы в сочетании с новолачными смолами или без них.

В зависимости от применяемого вида связующего в конструкции древесных композитов выделяются следующие группы материалов [3]:

- получаемые с использованием синтетических связующих: плиты - древесностружечные (ДСтП) и древесноволокнистые (ДВП), пластики - древесно-слоистые (ДСП) и бумажно-слоистые (ДБСП), а также различные древесные пресс-массы;

- полученные с использованием неорганических связующих, таких как гипс, цемент и пр.: плиты цементно-стружечные (ЦСП), опилкобетон, фибролит, арболит и др.;

- получаемые с использованием природных адгезионных свойств древесины (клей получают путем взаимодействия на древесную массу воды, имеющую достаточно высокую температуру: при расщеплении образуются термо-гидролитические компоненты, такие как, легкогидролизуемые углеводы и лигнин): пьезотермопластики и ДВП мокрого способа прессования.

Теоретические и экспериментальные поиски новых древесных материалов с заранее заданными свойствами приводят к отысканию новых нетрадиционных вариантов адгезивов, и следовательно, к разработке новых способов

формирования этих материалов. Этому способствуют следующие причины [3]:

- завершается цикл использования древесины, которая не требует специальной обработки;

- предъявляемые экологические требования и требования безопасности в последнее время значительно ужесточились.

- сложившиеся рыночные отношения дают возможность беспрепятственно реализовывать подобную продукцию потенциальным потребителям.

Подробно остановимся на обзоре существующих в настоящее время древесных композиционных материалов.

1.2.1 Клееная фанера

Вышеперечисленные недостатки массивной древесины с недавних времен частично устраняли путем лущения древесины с последующим склеиванием тонких слоев и получения крупногабаритных листов клееных материалов с новыми физико-механическими свойствами.

Известны следующие этапы в производстве клееной фанеры [10]:

1. XIX в. – изобретение способа получения облицовочной фанеры путем лущения – начало производства клееной фанеры;

2. 1819 г. – изобретение лущильного станка российским профессором Фишером;

3. 1881 г. – разработка и внедрение технологии получения трех- и многослойного арборета (шпон склееный «клеем – цементом» (предположительно альбуминно-казеиновым) российским изобретателем О.С. Костовичем;

4. 20-е годы XX в. – создание научно-исследовательских институтов (ЦНИИМОД и ЦНИИМФ) – для работ по усовершенствованию технологии и оборудования фанерного производства, разработки и внедрения новых видов клеев и клееных материалов на основе древесины.

Фанера представляет собой слоистый материал, состоящий из склеенных между собой листов лущеного шпона, нередко в композиции с другими материалами [11 – 14].

Широкая и многообразная область применения фанеры по сравнению с массивной древесиной обусловлена следующими преимуществами [15, 16]:

- высокая прочность в продольном и поперечном направлении;
- малый объемный вес; возможность изготавливать листы больших размеров по площади при сравнительно малой толщине;
- легкостью придания определенной формы.

Фанера различается [13, 14]:

а) по породам – считается изготовленной из породы древесины, из которой состоят ее наружные слои;

б) по строению листа – с *четным* и *нечетным* числом слоев в листе;

в) по способу производства – фанера *сухого горячего* и *сухого холодного* склеивания – склеивают из сухого шпона соответственно в горячих или холодных прессах;

г) по виду применяемых клеевых материалов – склеенную *синтетическими* или *животными* клеями;

д) по подбору толщины шпона – *равнослойную* (все листы шпона имеют одинаковую толщину) и *неравнослойную* (средний лист шпона толще или тоньше рубашек или лист фанеры составлен из симметрично расположенных слоев различной толщины);

е) по соотношению – *квадратную* (размеры листа фанеры по длине (вдоль волокон древесины слоев) и по ширине (поперек волокон) одинаковы; *продольную* (долевую, большеформатную) – размер по длине вдоль древесины слоев больше, чем поперек; *поперечную* – размер поперек волокон древесины слоев больше, чем вдоль;

ж) по качеству – делится на сорта в соответствии с действующими ГОСТ и ТУ на фанеру;

з) по виду обработки – нешлифованную, шлифованную, циклеванную или тисненую.

и) по назначению – делится на фанеру обычную (для внутреннего потребления и экспорта), бакелизованную, облицованную, армированную, отделанную и профилированную (рисунок 1.1).

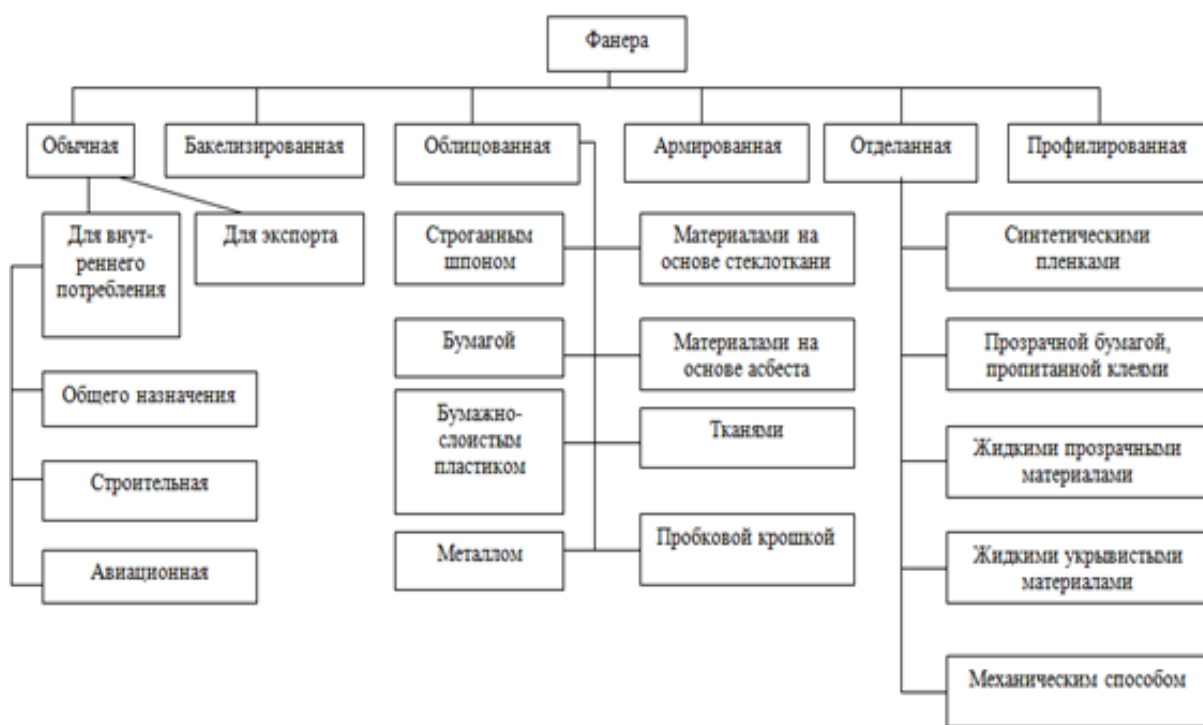


Рисунок 1.1 – Классификация фанеры по назначению

Физико-механические показатели фанеры, шпона и древесины приведены в таблице 1.1 [14].

Армированная фанера – относится к специальным видам фанеры и производится в небольших объемах. Представляет собой фанеру с включением между слоями шпона металлической сетки из проволоки или лист фанеры оклеенный с одной или двух сторон листовым металлом (алюминий, нержавеющая сталь, медь, латунь, цинк и пр.). Для производства такой фанеры применяются специальные клеевые материалы, как горячего так и холодного отверждения. Перед запрессовкой армирующие материалы обезжириваются и делается губчато-пористой (для увеличения площади контакта) [17].

Таблица 1.1 – Физико-механические показатели фанеры, шпона и древесины

Показатели	Фанера			Шпон березовый	Древесина березы
	Обычная березовая	Авиационная	Бакелизованная		
Толщина материала, мм	4	3	16	1,5	-
Плотность, г/см ³	0,696	0,8	1,19	0,59	0,63
Предел прочности, МПа:					
- при растяжении вдоль волокон наружных слоев	101,1	75,0	113,4	124,0	168,0
- поперек волокон наружных слоев	65,9	41,0	120,0	2,2	-
- под углом 45°	30,7	25,0	-	41,0	-
- при сжатии вдоль наружных слоев	-	-	68,7	-	55,0
- поперек волокон наружных слоев	-	-	67,8	-	-
-при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев	-	-	124,3	-	109,5
- поперек волокон наружных слоев	-	-	112,0	-	-
- при скалывании в плоскости клеявого слоя (вдоль волокон) после вымачивания (кипячения)	21,0	1,5	1,5	-	-
- в сухом виде	3,0	2,0	-	-	9,5
Модуль упругости, МН/м ² :					
- при растяжении вдоль волокон наружных слоев	-	13000	15000	16000	18700
- поперек волокон	-	6500	11000	310	500
- под углом 45°	-	2800	-	6200	-
Модуль сдвига, МН/м ² :					
- вдоль волокон наружных слоев	-	800	1400	-	1540
- под углом 45°	-	4200	1400	-	-
Коэффициент Пуассона при растяжении вдоль волокон наружных слоев	-	0,07	0,075	-	0,58
Водопоглощение за 24 ч, %	24-32	-	0,092	-	40-60

Также армировать фанеру можно разными материалами, например отходами деревообработки, материалами типа дублерина и канвы, неткаными материалами, стеклотканями пропитанными ПЭФ - смолами, волокнами конопля, базальтовыми и полиэстеровыми волокнами, добавками наноцеллюлозы и пр. [18 – 25], что позволяет получать слоистые древесные материалы на основе древесины с заранее задаваемыми свойствами.

1.2.2 Древесные слоистые пластики (ДСП)

К ДСП относятся материалы, получаемые путем наслоения листов древесного шпона, иногда с прослойками из других материалов (ткань, резина, бумага, металл, пластик и пр.), пропитанных или покрытых связующим веществом и склеенных в монолит с нагревом под давлением [26 – 27].

ДСП изготавливают в виде плит или тонких листов, а также профильных (формованных) изделий. [28]. По способу получения различают ДСП, изготовленные из шпона необработанного или химически обработанного.

ДСП, изготовленные из необработанного шпона классифицируются [28]:

а) в зависимости от толщины:

- толстолистовые (плиточные) – толщиной 15 мм и более;

- тонколистовые – толщиной менее 15 мм;

б) в зависимости от длины:

- короткие (цельные) – длиной менее 1500 мм, склеенные из целых по длине листов шпона;

- составные (длинные) – длиной более 1500 мм, склеенные из нескольких листов шпона по длине, уложенных внахлестку или встык;

в) в зависимости от вида смолы:

- на спирторастворимой смоле;

- на водорастворимой смоле;

г) в зависимости от направления волокон древесины шпона в смежных слоях подразделяются на марки [26]:

- ДСП-А – волокна древесины во всех слоях имеют параллельное направление – имеет максимальную прочность в одном направлении;

- ДСП-Б – каждые 5-20 слоев шпона с параллельным направлением волокон чередуются с одним поперечным слоем шпона – имеют высокие показатели предела прочности на растяжение, изгиб и сжатие;

- ДСП-В – волокна древесины в смежных слоях имеют взаимно перпендикулярное направление – имеют одинаково высокие показатели прочности в двух перпендикулярных направлениях и используются в конструкциях, требующих значительных пределов прочности при сжатии и скалывании как вдоль так и поперек волокон;

- ДСП-Г – волокна древесины в смежных слоях последовательно смещены на угол 25-30° (угол может быть увеличен до 45-60°) – обладает большой равномерностью в распределении механических свойств материала по окружности;

- ДСП-М – пластик пропитанный маслом, является разновидностью пластиков ДСП-Б, ДСП-В и ДСП-Г.

- профилированные ДСП – выпускаются в виде профилированных, формованных деталей или изделий с переменным объемным весом (крышки столов, токоизолирующие рельсовые накладки, профилированные крышки и др.).

- Арктилит - армированный ДСП – это спрессованный под действием температуры листы березового шпона, хлопчатобумажной ткани и сетки металлической тканной, с использованием связующего на основе пропитанных феноло- или крезолформальдегидных смол.

д) в зависимости от назначения:

- а – для деталей авиационных конструкций;

- э – для изготовления конструкционных и электроизоляционных деталей машин и аппаратов;

- м – самосмазывающийся антифрикционный пластик;

- т – для изготовления деталей машин текстильной промышленности.

ДСП, изготовленные из химически обработанного шпона – шпон перед склеиванием предварительно, либо пропитывается (смолами, полимерами, маслом), либо выщелачивается, либо выщелачивается и затем пропитывается.

Балинит – (назван по фамилии изобретателя Тутубалина) - древесный слоистый пластик конструкционного назначения, нашел широкое применение в самолетостроении, судостроении, вагоностроении и других отраслях промышленности. Материал представляет собой пластик, изготовленный путем горячего прессования химически обработанного березового шпона, пропитанного водными или спиртовыми растворами фенолформальдегидных или крезолформальдегидных смол, с листами шпона, собранными под углом 15, 30, 60 и 90°. Материал бывает: листовой ДСП-20 (шпон толщиной 0,24-0,55 мм пропитывается бакелитовыми смолами и выпускается в виде листов толщиной 1-6 мм) и плиточный ДСП-31 (пропитывается фенолоформальдегидными смолами и выпускается в виде плит толщиной 10-60 мм). [28].

Лигнофоль (дельта-древесина) - слоистый материал из березового необлагороженного шпона толщиной от 0,5 до 1 мм, пропитанного бакелитовой смолой. Выпускается в виде плит толщиной от 20 до 60 мм и круглых болванок. Применяется как заменитель бронзы для изготовления вкладышей подшипников прокладок станков, направляющих подшипников валов гидротурбин, некоторых типов шестерен и пр. [29].

Термогибкие древесные слоистые пластики (ДСТП) [28, 30] – изготавливают из выщелоченного или натурального лущеного шпона, пропитанного резольно-новолачной смолой. ДСТП при повышенной температуре деформируется и после охлаждения сохраняет приданную ему форму. Сочетание высоких физико-механических свойств и формовое разнообразие обеспечивают пластику широкое применение во многих отраслях промышленности.

Беролит – (назван по фамилии разработчика Берлин) – это гибкий древесный слоистый пластик. Выпускается двух марок: Ф – изготавливается из обычного шпона, пропитанного дициандиатом; Б – шпон предварительно выщелачивается, а затем пропитывается дициандиатом [28].

Фанероль – пластик из шпона, предварительно выщелоченного и пропитанного хлористым магнием [28].

ДСП по своим свойствам способны конкурировать с нержавеющей стали, цветными металлами и алюминиевыми сплавами. Они обладают высокими прочностными показателями, износостойкостью, не поддаются действию влаги, масел, растворителей, не подвержены коррозии. ДСП являются достаточно технологичным материалом, но по степени обрабатываемости они ближе к цветным металлам, чем к древесине [31]. Физико-механические свойства ДСП приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Физико-механические свойства ДСП

Показатели	ДСП-А	ДСП-Б		ДСП-В		ДСП-Г	ДСП-Б-э		ДСП-В-э	
	цель- ные	цель- ные	со- ста- ные	цель- ные	со- ста- ные	со- ста- ные	цель- ные	со- ста- ные	цель- ные	со- ста- ные
Плотность, г/см ³ , не менее	1,33	1,30								
Влажность, %, не более	6	7				6				
Водопоглощение за 24 ч, %, не более для пластика толщиной, мм										
15-20	-					3				
25-50	-					2				
55-60	-					1				
Предел прочности, МПа, не менее:										
- при растяжении вдоль волокон	-	260	220	140	110	-	260	220	140	110
- при сжатии вдоль волокон	180	160	155	125	120	125	160	155	125	120

Показатели	ДСП-А	ДСП-Б		ДСП-В		ДСП-Г	ДСП-Б-э		ДСП-В-э	
	цель- ные	цель- ные	со- ста- ные	цель- ные	со- ста- ные	со- ста- ные	цель- ные	со- ста- ные	цель- ные	со- ста- ные
-при статическом изгибе вдоль волокон	-	280	260	180	150	150	280	260	180	150
- при скалывании по клеевому слою	8	8	7	7	6	7	8	7	7	6
- ударная вязкость при изгибе вдоль волокон наружного слоя, кДж/м ² , не менее	-	80	70	30	30	30	80	70	30	60

1.2.3 Столярные плиты

Столярная плита - это щит больших размеров, который, как правило, оклеен с обеих сторон одним или двумя слоями шпона (или, реже – строганной фанерой). Используют столярные плиты в изготовлении щитовой мебели, перегородок, дверей, полов. Кроме того, плиты находят применение в вагоностроении: из них делают межкупейные перегородки, диваны и подъемные полки, внутренние двери [12, 32].

Щит из реек называют *серединой*, а шпон, наклеенный на него - *рубашкой*. Рейки выбирают достаточно тщательно, чтобы щит не коробился. Середина столярной плиты должна включать в себя рейки только одной породы древесины: подходит древесина мягких лиственных и хвойных пород. А для рубашек оптимален шпон из бука, берёзы, сосны или ольхи. При этом рубашки обязаны иметь одинаковую толщину.

В зависимости от способов производства и конструкции, выделяют:

- НР - плиты, заполнение которых состоит из реек, не склеенных между собой;

- СР - столярные плиты, рейки которых склеены между собой;
- БР - плиты, заполненные рейками, которые выпилены из склеенных в блок досок.

Преимущества столярных плит - более высокая прочность в сравнении с ДСтП, отсутствие токсичных веществ, небольшая плотность [12].

1.2.4 Древесно-композиционные материалы (древолит)

ДКМ без добавления синтетических связующих (пъезотермопластики).

Идея о производстве пластических масс из различных измельченных органических веществ без добавления связующих известна довольно давно [26]. Под действием давления и температуры, измельченные растительные материалы, образуют плотный темный твердый материал.

Впервые о пьезотермообработке древесины для получения древесных плит было упомянуто в 50-х годах XX века. Технология получения этих материалов заключалась в нагреве древесины до 800 – 900 °С и ее прессовании для деформации клеток древесины с целью получения монолитной массы. Полученный продукт являлся твердым веществом без определенной формы [33].

В НИИ и лабораториях были предложены разные технологии изготовления ДП без применения синтетических смол. Разработаны и внедрены следующие технологии получения пьезотермопластиков:

- в одну стадию, предложенная А.Н. Мининым - Белорусский технологический институт [26];
- в две стадии (из опила, подверженного гидролизу), предложена Н.Я. Солечником - Ленинградская лесотехническая академия [34];
- ЛУДП (лигноуглеводных древесных пластиков), предложенная В.Н. Петри - Уральский лесотехнический институт [35].

Получают пьезотермопластики двумя способами [26]:

- *первый* - прессование естественных, необработанных древесных и других растительных отходов, которое осуществляется как в герметичных пресс-

формах, так и без них (прессование происходит между поддонами, выполненными из металла без использования дистанционных прокладок) [35].

- *второй* - прессование древесных и других растительных отходов, которые предварительно подвергаются переработке: для начальной фазы гидролиза и пиролиза и насыщение пресс-массы мономерами связующих или же путем расщепления органических составов насыщенным готовым связующим с последующей реакции полимеризации или поликонденсации [34, 36].

Первичная обработки древесных и растительных отходов для второго способа осуществляется следующим образом:

1) предварительная обработка растительной пресс-массы горячей водой или паром при повышенной температуре, т.е. гидролиз. Не исключен и частичный пиролиз древесины и растительных отходов, поскольку на входе трубы-сушилки температура топочных газов составляет около 500 °С [26];

- при изготовлении брикетов в ретортах по способу инженера Глотова, а также при изготовлении баркалаита [26];

- при изготовлении мессонита в котлах-пушках, где под давлением порядка 75 – 80 атмосфер сырье проходит операцию гидротермической обработки [26];

- в гидролизных аппаратах, где сырье под давлением порядка 8 – 12 атмосфер проходит операцию гидротермической обработки [26];

2) желатирование древесной пресс-массы различными химическими веществами, такими как хлор, слабая серная кислота, аммиачная вода для начального гидролиза пресс-массы и насыщения ее исходным связующим [26];

3) химическая поликонденсация древесной пресс-массы фенолом, фурфуролом, лигнином, щелочными и другими химическими веществами [26].

Принцип получения пьезотермопластиков заключается в том, что его прессование происходит под воздействием высоких температур и давления.

В технологии получения древесных пластиков без добавления связующих используют разные виды растительных отходов, имеющие в своей клетке целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозы:

- отходы деревообработки в виде опилок, стружки или пыли [37 – 40];
- отсев, который образуется при сортировке древесной щепы [40];
- технологическая и шлифовальная пыль, которая образуется в процессе изготовления ДСтП [37, 40];
- шлифовальная пыль, которая образуется в процессе изготовления фанеры [37, 40];
- древесные отходы, которые образуются в процессе изготовления производства ДВП [27, 40, 41];
- остатки однолетних растений: костра льна, лузга подсолнечника и другие [40, 42, 43].

Древесно-композиционные материалы с синтетическим связующим (ДМК). Основой ДМК является древесный наполнитель, в который вводится связующее (одно или несколько). Такие материалы получают, либо путем пьезотермической обработки, либо путем химической или химико-пьезотермической обработки. Наполнителем в ДП выступает цельная древесина в разных её модификациях или древесина в измельченном виде [30, 31].

Наполнителем в подобных конструкциях является: древесная пыль, древесные волокна, древесная стружка, древесная крошка, древесная шерсть, лущенный древесный шпон, измельченная кора [40, 44 – 50]. Также при изготовлении ДП в качестве наполнителей могут использоваться растительные остатки от измельчения рисовой соломы, рапса, бамбука, лузги подсолнечника, льняной костры, стеблей хлопчатника и виноградника, камыша, а также отходы грибоводства [35, 51 – 59]. Помимо этого могут использоваться комбинированные наполнители, включающие древесные частицы и такие наполнители, как рубленое стекловолокно, базальт, шунгит, промышленные отходы, волокна хлопчатобумажные, льняные, синтетические, стружка или порошки металлов, резины и другие армирующие наполнители [48, 60 – 68].

Связующими веществами в подобных конструкциях выступают синтетические смолы, имеющие невысокую молекулярную массу (500 - 2000) и обладающие высокой адгезионной способностью. В древесные и растительные наполнители добавляются такие терморреактивные связующие, как:

- синтетические полимерные (олигомеры: фенолоформальдегидные, карбамидоформальдегидные и меламиноформальдегидные) [69 – 72];

- материалы животного происхождения - клеи: глютиновый, казеиновый, альбуминовый и растительного происхождения - клеи на основе крахмала, сои, люпина, вики, клещевины [73].

Достаточно широко распространены древесные материалы, в которых связующим являются вторичные термопласты: полиэтилен, полипропилен, полистирол, а наполнителем – отходы деревообработки [74 – 79].

Также в состав ДП вводятся разные вспомогательные вещества в виде красителей, пластификаторов и пр. [61]. Наиболее распространенные виды ДП, которые широко используются в строительстве, машиностроении, легкой промышленности, товарах народного потребления приведены в таблице 1.3 [35, 36, 61, 80, 81]. Основные свойства древесины и ДП на ее основе приведены в таблице 1.4.

1.3 Плитные материалы из древесно-полимерных композиций

Известны различные технологии изготовления изделий из древесно-полимерных композиций. Наиболее широкое распространение нашла технология переработки древесно-полимерных композиций в изделие путем прессования рыхлой сыпучей массы при определенном температурном режиме с образованием твердого монолитного материала [82].

Производство и потребление плитных материалов в настоящее время бурно развивается, что вызвано рядом причин. Одной из основных является экологическая ситуация. Плитные древесные материалы позволяют экономно расходовать такой ценный природный ресурс, как древесина. Также немаловажным фактором с точки зрения потребительского спроса является фактор соотношения «цена – качество». В частности, мебельные изделия, выпущенные из массивной древесины довольно дороги, а из плитных древесных материалов – доступны по цене всем слоям населения, при этом по эксплуатационным показателям они не уступают древесине.

Таблица 1.3 – Основные свойства древесины и древесных полимеров на ее основе

№ п/п	Показатель, свойства	Древесина	Древесные пластики со связующим					Древесные пластики без связующих				
			Сосна [36]	ДСтП [37]	ДВП [38]		МДП [39]		Фенопласт 03-010-02 [40]	ПТП [1]		ЛУДП [2]
		Мокрый способ			Сухой способ	ФФС	КФС	2-х стадийный		1-о стадийный		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Содержание связующего, %	---	10-14	2-3	2-6	25-30	11-14	42,8	---	---	---	---
2	Насыпная плотность, кг/м ³	---	---	---	---	110-350	200-250	500-800	250	---	150-170	140-200
3	Текучность по Рашигу, мм	---	---	---	---	35-55	3	110	5-10	---	---	25-35
4	Текучность по диску, мм	---	---	---	---	100-105	50	---	---	---	---	83-95
5	Усадка, %	---	---	---	---	0,15-0,47	0,37-0,40	0,4-0,8	---	---	---	2,0
6	Плотность, кг/м ³	450-550	660-800	950-1000	950	1300-1380	1220-1280	1400	1350-1380	1300-1360	1170-1260	1300-1350
7	Прочность при изгибе, МПа	64-87	17-24	50	49	88	> 44	69	42-88	30-65	15-30	30-65
8	Прочность при сжатии, МПа	35-47	10-15	---	---	98	> 49	157	35-112	80-160	120-130	40-45
9	Ударная вязкость, кДж/м ²	---	1,0-3,6	---	---	11	5	5,9	---	5,2	0,75	---
10	Водопоглощение за 24 часа, %	76	55-70	13	15	---	---	0,7	2-4	2-6	10-18	35-40
11	Разбухание за 24 часа, %	9-10	10-25	3-7	4-8	---	---	---	2-4	3-4	8,6-13	29
12	Влажность, %	---	8-9	5-12	5-12	6-10	9-11	---	4,5-5,0	5-7	8-11	2,6-5,3

Таблица 1.4 – Наиболее распространенные древесные пластики (ДП)

Вид древесного пластика	Основной наполнитель	Основное связующее
Древесные плиты и пластики		
древесностружечные плиты (ДСтП)	стружка	КФО
древесноволокнистые плиты (ДВП)	волокно	ФФО, КФО
древесно-слоистые пластики (ДСП)	шпон	ФФО
декоративные бумажно-слоистые пластики (ДБСП)	бумага	КФО, МФО
Композиционные древесно-полимерные материалы (КДПМ)		
пресс-порошки	мука	ФФО, КФО
массы древесные прессовочные (МДП)	крошка	КФО
древесно-клеевые композиции (ДКК)	опил	клеи
древесно-полимерные материалы на основе термопластов (ДПМТ)	опил	ПЭ и ПП
Древесные пластики без добавления связующего (ДП-БС)		
пьезотермопластики (ПТП)	опил	-
лигноуглеводные древесные пластики (ЛУДП)	опил	-
Модифицированная цельная древесина		
пластифицированная (ПлД)	древесина	мономеры, олигомеры
модифицированная полимерами (МПД)	древесина	мономеры, олигомеры
Древесно-минеральные композиционные материалы (ДМКМ)		
арболит	дробленка	цемент
фибrolит	древесная шерсть	цемент
цементно-стружечные плиты	стружка	цемент
гипсо-волокнистые плиты	древесное волокно	гипс
гипсо-стружечные плиты	стружка	гипс
строительные брус и блоки	опил	магнезит
опилкобетон	опил	цемент
стеклоопилочные блоки	опил	жидкое стекло

В настоящее время широко применяются следующие плитные материалы:

- **древесностружечные плиты (ДСтП)** – «particleboard» (англ.) – доска из частиц [37, 39, 83 – 87] наиболее широко применяется в производстве мебели. Представляет собой плитный листовой древесный композит, полученный путем горячего прессования древесной стружки с связующими материалами (синтетическими смолами). Основным сырьевым материалом для производства ДСтП может быть малоценная древесина сосны, березы, ели, осины, лиственницы и др. Также в качестве наполнителя в ДСтП можно использовать щепу, опилки и вторичную древесину. Все виды древесного сырья можно использовать как в отдельном виде, так и в смешанном.

Промышленное производство ДСтП относится к 30-ым годам XX века. Основное влияние на физико-механические показатели материала оказывает характеристика применяемого сырья: вид стружки, ее фракционный состав, порода древесины. ДСтП классифицируется:

- по прочности на марки: П-А (повышенной) и П-Б (пониженной);
- по качеству поверхности: обычные и мелкоструктурные;
- по степени обработки поверхности: шлифованные и нешлифованные;
- по водостойкости: обычной и повышенной;
- по слоистости - однослойные (прессуются из стружки одной фракции); трехслойные (центральный слой – стружка грубой фракции, а два поверхностных хорошо спрессованных слоев - стружка мелкой фракции); пяти-слойные (центральный и поверхностные слои - стружка мелкой фракции, а между ними два слоя – стружка грубой фракции); плиты со слоями разной толщины.

Карбамидоформальдегидная смола является основным связующим, которое применяется для производства ДСтП. В процессе использования плиты выделяют свободный формальдегид. В зависимости от его количества на 100 г абсолютной сухой ДСтП делят на классы эмиссии: E1 (не более 10 мг) и E2 (от 10 до 30 мг).

Недостатки ДСтП: невысокие физико-механические свойства в местах кромок, сравнительно высокий удельный вес, повышенная токсичность, разбухание при повышении влажности, невысокие декоративные свойства.

- *древесноволокнистые плиты (ДВП)* - изготавливают из древесных волокон неделовой древесины с добавлением гидрофобизирующих составов и связующих материалов. ДВП производят мокрым, сухим, полусухим и мокро-сухим способами [88, 89].

Мокрый способ заключается в том, что древесноволокнистая масса смешивается с водой и отливается на листоформовочных машинах с последующим прессованием при температуре около 240 °С и нарезкой полотен на стандартные форматы. В качестве связующего используется пектин, содержащийся в древесине. Относительная влажность плит при мокром способе производства колеблется в пределах от 6 до 7%.

Сухой способ заключается в том, что древесноволокнистый ковер формируется на воздухе с последующим горячим прессованием и последующей нарезкой полотен на стандартные форматы. Плиты получаются более качественные, чем при мокром способе производства с относительной влажностью $7\pm 1\%$.

Полусухой способ получения плит подобен сухому, но влажность в процессе изготовления колеблется от 16 до 18%.

Мокро-сухой способ заключается в формировании древесноволокнистого ковра в воде с последующей сушкой полученного материала и его горячим прессованием. Влажность полученных плит близка к нулю.

Плиты, произведенные по разным способам, отличаются эксплуатационными свойствами и поэтому находят свое применение в различных областях жизнедеятельности человека. ДВП применяются в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов в конструкциях стен, потолков, перегородок; в качестве отделочных материалов для акустической отделки помещений.

Достоинством материала является их однородность свойств во всех направлениях, повышенная влагостойкость, экологичность. Недостаток материала – отсутствие достаточных прочностных показателей, поэтому ДВП применяются лишь в качестве вспомогательного конструкционного материала.

В зависимости от показателя предела прочности при статическом изгибе и плотности ДВП делятся на мягкие, полутвердые, твердые и сверхтвердые.

- **плиты МДФ** - Medium Density Fibreboard (MDF) – это древесноволокнистые плиты средней плотности сухого способа прессования, имеющие толщину более 10 мм, обладающие повышенными физико-механическими свойствами [90 – 92].

Эта плита является более технологичным материалом, по сравнению с древесностружечной плитой. Материал имеет гладкую поверхность и однородную внутреннюю структуру. Детали из МДФ легко отделяются эмалями и красками или же облицовываются современными декоративными пленками.

Достоинством МДФ заключается в том, что процессами прессования или же фрезерования материалу можно придать практически любой профиль. Эти плитные материалы широко применяются в качестве конструкционного материала в производстве мебели, а также для изготовления фасадных элементов, рамочно-филенчатых конструкций, а также криволинейных щитов.

Недостатком плит является повышенный удельный вес, низкая влагостойкость.

- **плиты из ориентированной стружки (OSB)** – Oriented Strand Board – это конструкционный материал, получивший широкое применение в строительстве [90, 93 – 95].

Наполнителем плит являются отходы производства фанеры, а также щепа, измельченная специальным образом из лущеных лесоматериалов. Щепа должна содержать минимальное количество гнили и иметь: длину 75 – 150 мм, ширину 5 – 25 мм, толщину 0,8 – 0,6 мм.

В процессе формирования плит OSB щепа располагается так, чтобы плоскости ее отдельных частиц были расположены параллельно плоской поверхности прессуемой плиты. В качестве связующего применяются в основном клеевые материалы на основе ФФС.

Плиты OSB имеют высокую влагостойкость, технологичность (легко обрабатывается дереворежущим инструментом, высокие адгезионные свойства, а также обладают повышенными физико-механическими показателями: модуль упругости при изгибе вдоль плит – 3500 - 4800 МПа, поперек – 1400 - 1900 МПа; плотность 660 - 680 кг/м³. По количеству выделяемого свободного формальдегида соответствует классу эмиссии E1.

Разновидность плит OSB – является плита CanFbreLtd, содержащая до 70% коры. Связующим в плите являются природные смолы и пектины, содержащиеся в коре. Материал обладает повышенной влагостойкостью и экологически безопасен.

Плиты OSB имеют следующие преимущества: минимальные требования к качеству древесного сырья, более низкая себестоимость производства, полученный материал обладает высокими прочностными характеристиками.

Для расширения ассортимента и рынка сбыта готовой продукции был проведен поиск новых областей использования древесных композиционных материалов (таблица 1.5).

Проанализировав данные, приведенные в таблице 1.5 можно сделать вывод о том, что в настоящее время на основе древесины и древесных отходов разработано множество разнообразных композиционных материалов, применяющихся в различных областях жизнедеятельности человека, даже при обустройстве рентгенкабинетов [22]. Поэтому древесину в виде листов шпона, стружки, опилок можно рекомендовать к использованию в качестве несущей основы (матрицы) для создания композиционных материалов, предназначенных для обустройства мест в которых применяется рентгеновское излучение (медицина - рентгенкабинеты, технике, криминалистике, искусствоведение, при оформлении научно - исследовательских лабораторий, при оборудовании мест досмотра службы безопасности и т.д.). Это позволит расширить области применения древесины и древесных отходов.

Таблица 1.5 – Области применения древесных композиционных материалов

Наименование материала	Область применения
Слоистые материалы	
фанера общего назначения	в строительстве, изготовлении мебели, контейнеров, кузова автомобилей, отделочный материал и пр.
строительная фанера	изготовление сооружений каркасного, сборно-щитового, передвижного типов: для строительства деревянных домов, сооружений, в вагостроении
облицованная фанера	<ul style="list-style-type: none"> - строганым шпоном – используют в условиях повышенных атмосферных воздействий (судостроение, строительство), мебельное производство; - бумагой – щитовая опалубка, авто-, вагоно-, контейнеростроение; - декоративная – обшивочный материал в строительстве, авто- и судостроение, в мебельном производстве - ДСП – изготовление торговой и кухонной мебели, в строительстве; - ДВП – строительство, мебельное производство; - стекловолокнистым материалом – изготовление полов контейнеров, вагонов, кузовов автомобилей; - металлом – кузова автомобилей, строительство
бакелизированная фанера	применяют в конструкциях машино- и судостроения, в строительных конструкциях, работающих в атмосферных условиях и в помещениях, автомобилестроении для внутренних конструкций
авиационная фанера	изготовление летательных аппаратов, производство музыкальных инструментов и т.п., когда требуются гарантированные конструкционные свойства
профилированная фанера	используется в качестве обшивочного материала в строительстве
столярные плиты	мебельная промышленность, вагостроение и судостроение для изготовления перегородок, панелей, полов, дверей и в других элементах конструкций
древесноволокнистые плиты (ДВП)	мебельная промышленность (здание стенки корпусной мебели, днища ящиков и т.п.) и столярные изделия; строительство и домостроение (элементы полов, перегородок, дверей, ограждающие конструкции и т.п.); вагостроение и автомобильное машиностроение; тара и упаковка

Наименование материала	Область применения
Плитные материалы	
древесностружечные плиты (ДСтП)	элементы конструкций пола, перегородки, двери; опалубка, детали автомашин, вагонов и др.; элементы интерьера, перегородок и др.
цементно-стружечные плиты (ЦСП)	составные элементы сэндвич-панелей; элементы конструкций пола, перегородки; опалубка
древесноволокнистые плиты сухого способа производства (МДФ)	<p>фасады корпусной мебели, в т.ч. с имитацией филенок и различных видов резьбы по дереву;</p> <p>крышки столов и другие малонагруженные функциональные и декоративные горизонтальные элементы мебели;</p> <p>детали корпуса мебели (боковые, нижние, верхние и задние стенки, малонагруженные полки и т.п.);</p> <p>закладные ненагруженные элементы мягкой мебели;</p> <p>паркетные доски, несущие в основном декоративные функции;</p> <p>элементы интерьера, перегородок и др.</p> <p>несущие панели перекрытий;</p> <p>несущие стены и перегородки;</p> <p>ограждающие элементы стен и перегородок (наружная и внутренняя обшивка);</p>
древесные плиты из ориентированной стружки (OSB)	<p>обшивка и обрешетка кровли и детали стропильной системы;</p> <p>декоративная облицовка стен и потолков, многообразная опалубка;</p> <p>устройство полов;</p> <p>детали интерьера, нагруженные и длиннопролетные полки;</p> <p>корпуса мебельных изделий;</p> <p>встроенная мебель, двери и дверные полотна</p>
фибrolит	теплоизоляционный и звукоизоляционный материал в строительстве, домостроении и временных сооружениях

1.4 Основные сведения о рентгеновском излучении и рентгенозащитных материалах

Рентгеновские лучи возникают в рентгеновской трубке в результате торможения быстролетающих электронов матрицей. На шкале электромагнитных волн они занимают диапазон от 10^{-12} до 10^{-7} метров. Рентгеновское излучение является одним из наиболее «жестких» видов электромагнитного излучения, обладающего высокой проникающей способностью [96]. Поэтому этот вид излучения является вредным и смертельно опасным для живых организмов [97].

Время облучения – является основным фактором воздействия рентгеновского излучения, т.к. важна не только общая доза облучения, но и мощность дозы, полученная за единицу времени [97].

Основной принцип защиты от воздействия первичного пучка состоит в том, между защищаемым объектом и анодом рентгентрубки устанавливается защитный материал, снижающий мощность дозы излучения до предельно-допустимых значений [96, 98].

Защитный материал [98] – вещество, предназначенное для использования в целях ослабления излучения.

К материалам, предназначенным для ослабления рентгеновского излучения, предъявляются следующие требования: механическая прочность, сохранение стабильных размеров, экологическая безопасность и нетоксичность, стойкость к радиации, химическая инертность, высокие конструктивно-эксплуатационные свойства [96].

Нормирование рентгенозащитных свойств материалов осуществляется такими величинами, как:

- свинцовый эквивалент – толщина свинцового слоя в миллиметрах, ослабляющего измеренную в воздухе мощность дозы рентгеновского излучения в той же мере, как данный слой защитного материала;

- кратность ослабления – величина, показывающая во сколько раз данный материал позволяет уменьшить значения мощности дозы рентгеновского излучения, измеренное в данной точке в воздухе.

Общепринятым рентгенозащитным материалом является свинец. Международные рекомендации по определению толщины свинцового слоя для напряжений рентгеновской трубки от 75 до 200 кВ, согласно [99], приводятся в таблице 1.6. Соотношение величин свинцового эквивалента и кратности ослабления рентгеновского излучения приведены в таблице 1.7 [97].

Таблица 1.6 – Международные рекомендации для определения толщины защитного слоя из свинца

Толщина свинца, мм	4,0	3,0	2,2	2,0	1,5	1,0
Напряжение, кВ	200	175	150	125	100	75

Таблица 1.7 – Соотношение величин свинцового эквивалента и кратности ослабления рентгеновского излучения

Величина свинцового эквивалента, мм	2,0	1,5	1,3	1	0,75	0,5	0,35	0,25
Кратность ослабления	2000	520	200	125	75	40	30	17

Рентгенозащитные материалы условно можно разделить на материалы, изготовленные на основе свинца и материалы, не содержащие в составе свинец [9, 100 – 104]:

Материалы на основе свинца – состоят из свинца или содержат в своем составе его производные, являющиеся в конструкции материала наполнителем и играющие основную рентгенозащитную роль. Матрицей или связующим в подобных конструкциях выступают: ткани, различные резиновые смеси, жидкое стекло, каучуки, а также высокомолекулярные соединения (полимеры, сополи- и олигомеры). Наиболее широко на практике используются:

- *листовой свинец* [105] выпускается в виде листов размерами 1000×500×1 мм и 500×1000×0,5 мм. Материал достаточно дешевый, но токсичный;

- *просвинцованная резина* (пластина рентгенозащитная) [106] выпускается в листах (рулонах) размером 700×1000, 700×2000 и 700×2500 мм и с величиной свинцового эквивалента 0,2 или 0,45 мм Рb/мм. Материал применяется в качестве защитных экранов или ковриков в рентгенкабинетах. По защитным свойствам практически не уступает свинцу, мобилен, но недолговечен (быстро стареет и начинает осыпаться), достаточно дорогой и имеет низкие декоративные свойства;

- *рентгенозащитное свинцовое стекло* [107] – выпускается с величиной свинцового эквивалента 0,24; 0,27 и 0,33 мм Рb/мм и состоит из свинцового силиката, кварцевого песка, нитрата калия, оксида сурьмы и др. добавок. Применяется в тех случаях, когда защитная среда должна быть прозрачной – смотровые окна и стеклопакеты, защитные экраны, линзы защитных очков, оборудование для досмотра службы аэропортов и мест массового скопления людей.

Материалы, не содержащие в составе свинец [9, 104] бывают монолитными или композиционными.

В качестве монолитных используются:

- *черные металлы* – сталь $\rho = 10000 \text{ кг/м}^3$, низколегированная сталь ($\rho = 7500 - 7900 \text{ кг/м}^3$), железо ($\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$) – используются для защиты пола, дверных проемов, а также в качестве облицовки специальной тары. Достоинства - высокие конструкционные и рентгенозащитные свойства, недостаток – удельный вес в среднем на треть больше веса свинца;

- *цветные металлы* – кадмий – обладает большой поглощающей способностью, но не имеет высоких механических показателей (применяется в составе сплава со свинцом); вольфрам – трудно поддается механической обработке (это порошок, пропитанный медью и спеченный при высокой темпе-

ратуре); алюминий – используется в виде борали – материала, состоящего из листов алюминия, между которыми засыпается смесь, состоящая из карбида бора и алюминия, с последующей прокаткой этой конструкции в горячем виде (обладает высокой механической прочностью до температуры 800 °С);

- *редкоземельные металлы* – применяются в виде листовых защитных материалов, обладают высокой поглощающей способностью, небольшим удельным весом, долговечностью, безопасностью и удобством в эксплуатации, недостатком является их дороговизна.

В качестве композиционных используют:

- *бетоны* – материалы, отличающиеся по своему составу и свойствам, производимые на матрицах цементных, акриловых, полимерных, полиэфирных, эпоксидных, фенолоформальдегидных и др. и по прочности приближаются к металлам. Известны декоративные бетоны (материал для защиты от радиоактивного воздействия патент №2063074 от 27.11.1995) [108];

- *боропластики* – материалы, содержащие в качестве наполнителя борные волокна, внедренные в терморезистивную полимерную матрицу, при этом волокна могут быть как в виде монолитных нитей, так и в виде жгутов, оплетенных вспомогательной стеклянной нитью или лентой, в которых борные нити переплетены с другими нитями. Недостатком этих материалов является их дороговизна, поэтому они используются в авиационной и космической технике, в деталях, подвергающихся длительным нагрузкам в условиях агрессивной среды (материал нейтронозащитный патент №1804228 от 10.10.1996; материал пастообразный для защиты от радиоактивных излучений патент №2111558 от 20.05.1998) [109];

- *композиционные материалы с металлической матрицей* – основой являются металлы, а в качестве матрицы используется медь, алюминий, никель, магний т.п. Наполнителем являются тугоплавкие частицы разной дисперсии, волокна высокой прочности или монокристаллы в виде нитей карбидов бора и кремния, оксидов алюминия и бериллия, нитридов алюминия и кремния и т.д. Преимущества – повышенная прочность, жесткость, сопротивление

износу и ползучести (материал рентгенозащитный патент №2081463 от 10.06.1997 [110]; материал для защиты от рентгеновского и гамма излучения патент №2066491 от 10.09.1996) [111];

- *материалы на основе барита (тяжелый шпат)* - природный материал, применяемый в качестве баритовой штукатурки [112] или баритобетона [113] для изготовления рентгенозащитных ограждений. Он обладает большой поглощающей способностью и используется в натуральном виде или в виде отходов цинкового производства – салаарский пылевой баритовый концентрат. Сульфат бария ($BaSO_4$) встречается в виде бесцветных кристаллов, но бывает окрашен и примесями сульфатов стронция или кальция. Плотность 4480 кг/см^3 , твердость – 3–3,5 единиц [114];

- *гипсокартон рентгенозащитный КНАУФ-Сейфборд* [115] состоит из специального гипсового наконечника с добавлением сульфата бария, покрытого с обеих сторон картоном. Материал применяется для устройства перегородок, подвесных потолков, облицовок стен в зданиях и помещениях с сухим и нормальным влажностными режимами. Преимуществом материала является отсутствие свинца в конструкции, его мобильность и экологичность.

Ионы Ba и SO_4 сульфат бария образуют ромбическую решетку, аналогичную сульфату стронция и свинца, в воде практически не растворим. Из растворов солей бария при действии ионов SO_4 и из растворов, содержащих серную кислоту или сульфаты, при добавлении к ним ионов бария выпадает белый осадок $BaSO_4$. Присутствие сильных кислот значительно повышает его растворимость (в концентрированной серной кислоте – до 10- 12%), что объясняется образованием комплексного соединения.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время на рынке представлен широкий ассортимент композиционных материалов, обладающих рентгенозащитными свойствами. В качестве матрицы и наполнителя в них использованы разнообразные материалы. Поэтому древесину и древесные частицы можно рекомендовать к применению в подобных конструкциях в ка-

честве несущей основы. Подробно остановимся на рассмотрении рентгенозащитных свойств древесины.

1.5 Рентгенозащитные свойства древесины

Древесина – это вещество органического происхождения, поэтому она легко пропускает ионизирующее излучение [116]. На ее рентгенозащитные свойства влияют многие факторы. Здоровая древесина менее проницаема, чем поврежденная, мягкие породы древесины просвечиваются труднее, чем твердые, более влажная древесина способствует ослаблению проницаемости лучей [117, 118].

Древесина – это материал, имеющий сложный химический состав [6, 7], состоящий из кислорода, азота, углерода и молекул воды. На рисунке 1.2 представлена зависимость массовых коэффициентов ослабления для воды и древесного вещества при различной энергии гамма квантов [119].

Значения линейных коэффициентов ослабления для пяти пород древесины в абсолютно сухом состоянии при гамма - излучении Co^{60} приведены в таблице 1.8 [120]. Представленные данные говорят о том, что между линейными коэффициентами ослабления и плотностью древесины прослеживается линейная зависимость, а также полученные значения не зависят от направления волокон древесины. Проведенные исследования показали, что между линейным коэффициентом ослабления и влажностью древесины существует линейная зависимость при влажности 45 процентов [121, 122].

В работе [123] изучалась способность фанеры из древесины различных пород, разной толщины и слоистости пропускать рентгеновские лучи. В экспериментах брались образцы трех-, пяти- и семислойной фанеры из березового и осинового шпона, склеенные клеями на основе смол СФЖ-3014, КФ-Ж и бакелитовой пленкой. Установлено, что увеличение толщины фанеры способствует увеличению ее рентгенозащитных свойств, а порода древе-

сины, толщина шпона, вид связующего, наличие пороков и дефектов обработки в слоях фанеры существенного влияния не оказывают.

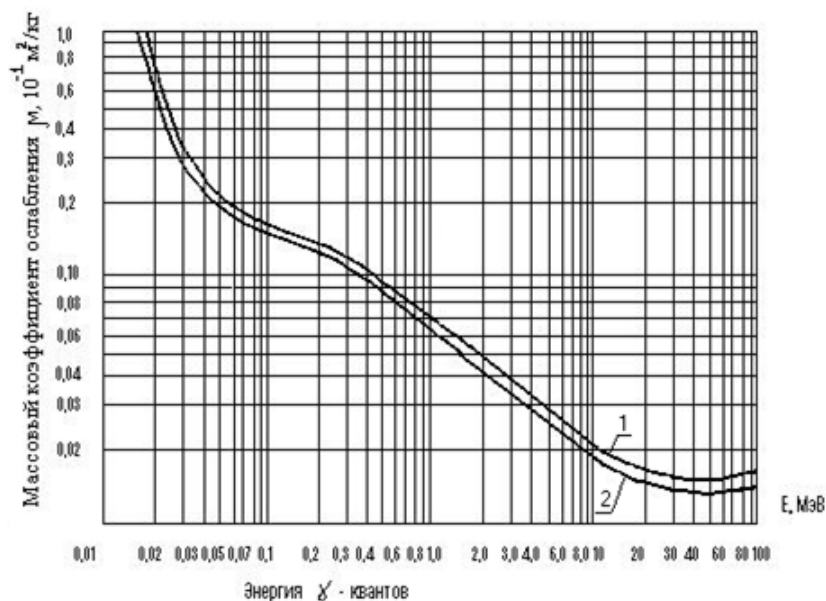


Рисунок 1.2 – Зависимость массовых коэффициентов ослабления воды (1) и древесного вещества (2) от энергии гамма – квантов

При прохождении излучения с энергией до 100 МэВ через материал наблюдаются следующие взаимодействия [96, 97, 124, 125]:

- *фотоэлектрическое поглощение* – взаимодействие гамма - кванта с атомом вещества, сопровождается поглощением энергии гамма - кванта, которая переходит в кинетическую энергию вылетающего электрона за вычетом энергии связи в той оболочке атома, из которой вырван электрон;

- *комptonовское рассеяние* – взаимодействие гамма - кванта с электроном атома. Этот процесс сопровождается изменением энергии и направления движения кванта. Потерянная квантом энергия передается электрону отдачи, на котором произошло рассеяние;

- *образование пар* - взаимодействие, сопровождающее исчезновением гамма - кванта вблизи атомного ядра и образованием пары электрон – позитрон, что приводит к появлению вторичных аннигиляционных гамма – квантов. Этот процесс становится возможным только при энергии гамма – квантов выше 1,02 МэВ.

Таблица 1.8 – Значения коэффициентов ослабления гамма-излучения Co^{60} для древесины различных пород в абсолютно сухом состоянии

Порода древесины	Плотность, ρ_0 , кг/м ³	Линейный коэффициент ослабления, μ , м ⁻¹ , в направлении волокон			Среднее значение	Массовый коэф - т ослабления, μ_m , м ² /кг
		радиальном	тангентальном	продольном		
Береза	666	3,9	3,9	4,1	4,0	0,006
Дуб	667	4,0	4,0	4,1	4,0	0,006
Ель	474	2,8	2,9	2,8	2,8	0,059
Липа	419	2,5	2,6	2,5	2,5	0,006
Сосна	431	2,6	2,6	2,5	2,6	0,006

Преобладающим процессом взаимодействия для всех элементов и веществ является комптоновское рассеяние. Для легких веществ, к которым относится древесина, остальные два процесса взаимодействия пренебрежительно малы [9].

Ослабление интенсивности излучения, проходящего через материал, определяется согласно основному закону ослабления [96, 97]:

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (1.1)$$

где: I_0 – исходная интенсивность излучения;

I – интенсивность излучения, прошедшего через слой материала толщиной x ;

μ – линейный коэффициент ослабления, характеризующий энергию, теряемую при прохождении единицы толщины слоя.

Ослабление интенсивности излучения – это сложное явление, которое получается в результате наложения нескольких процессов, зависящих от атомного номера среды и энергии квантов.

Массовый коэффициент ослабления характеризует ослабление излучения массы вещества:

$$\mu_m = \mu / \rho, \quad (1.2)$$

где: μ_m - массовый коэффициент ослабления, см²/г;

ρ - плотность, г/см³.

Если вещество имеет сложный химический состав, тогда:

$$\mu_m = \mu_{m1}P_1 + \mu_{m2}P_2 + \dots + \mu_{mn}P_n, \quad (1.3)$$

где: $\mu_{m1} = \mu_1 / \rho_1$, $\mu_{m2} = \mu_2 / \rho_2$, ..., $\mu_{mn} = \mu_n / \rho_n$ - массовые коэффициенты

ослабления частей, входящих в состав.

Исследования, выполненные в лаборатории лесных продуктов США, показывают, что линейный коэффициент ослабления для гамма – излучения прямо зависит от влажности и плотности древесины и обратно от энергии гамма – излучения. Облучение абсолютно сухой древесины тюльпанового дерева гамма – лучами энергией $0,75 \cdot 10^{-14}$ Дж дало линейные коэффициенты ослабления 0,065 – 0,11 на 1 см при относительной плотности древесины в абсолютно сухом состоянии 0,33 – 0,62. При увеличении влажности от 0 до 30% линейный коэффициент ослабления возрастает примерно на 0,01 на 1 см. Поглощение гамма-лучей в древесине применяется для измерения плотности древесины [126, 127].

На рисунке 1.3 показана кривая относительного ослабления излучения источника Cs¹³⁷ (E = 0,661 МэВ) древесиной сосны $\rho = 0,8$ г/см³, полученная при измерениях в приближенных условиях узкого пучка с помощью сцинтилляционного свечение, искрение, сверкание экрана детектора [126].

Взаимодействие древесины с бета – излучением напоминает по характеру взаимодействие с гамма – излучением, за исключением того, что коэффициент ослабления больше. Линейный коэффициент ослабления при относительной плотности древесины 0,5 для бета – лучей в $0,8 \cdot 10^{-13}$ Дж составляет

примерно 3,0 на один сантиметр. Поэтому, даже очень тонкие сортименты фактически непроницаемы для бета – лучей [128, 129].

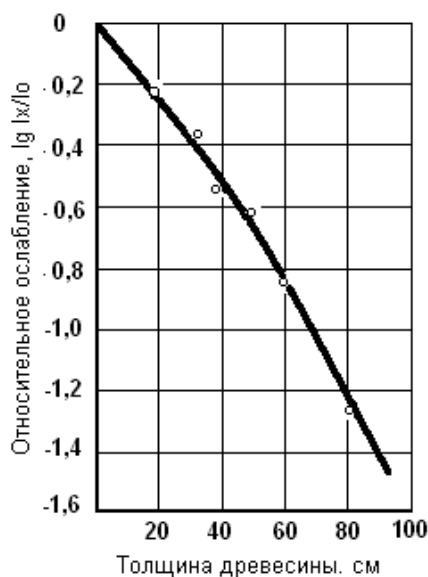


Рисунок 1.3 - Относительное ослабление гамма-излучения Cs^{137} древесиной ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$)

Очень большие дозы гамма - лучей или нейтронов вызывают существенную деструкцию древесины. Вообще облучение гамма - лучами в дозах приблизительно до 1 Мрад незначительно влияет на прочность древесины. По мере того, как доза становится выше 1 Мрад, прочность на растяжение вдоль волокон и вязкость уменьшаются. При дозе в 300 Мрад прочность при растяжении уменьшается приблизительно на 90%. Доза гамма - облучения свыше 1 Мрад также влияет на прочность при сжатии вдоль волокон, но потери прочности при дальнейшем увеличении дозы меньше потерь прочности на растяжение. При общей дозе 300 Мрад теряется около одной трети прочности. Влияние гамма - лучей на изгиб и прочность на скалывание является промежуточным между влиянием на прочность при растяжении и сжатии [128, 129].

Исследования, проведенные в Сибирском отделении института леса и древесины им. В.Н.Сукачева в г. Красноярске показывают, что абсолютная плотность древесины (объемный вес) является величиной изменчивой, зави-

сящей от условий произрастания и в значительной степени – от влажности. Поэтому наиболее целесообразно для оценки ослабляющих свойств древесины пользоваться массовым коэффициентом ослабления, нормированным на плотность [130].

Массовый коэффициент ослабления гамма - излучения для абсолютно сухой древесины основных пород является величиной устойчивой и может быть рассчитан по формуле:

$$\mu_i = \sum_i a_i \mu_{mi}, \quad (1.4)$$

где a_i - весовые доли i -го элемента, входящего в древесину;

μ_{mi} - массовый коэффициент ослабления гамма-излучения для i -го элемента.

С учетом основного элементарного состава рассчитаны массовые коэффициенты ослабления гамма - излучения для абсолютно сухой древесины. В таблице 1.9 приведены массовые коэффициенты ослабления для воды, древесины при плотности 470 кг/м^3 , коэффициенты для отдельных, широко распространенных изотопов: 0,084 МэВ (Tu^{170}); 0,142 МэВ (Ce^{144}); 0,279 МэВ (Au^{198}); 0,412 МэВ (Hq^{203}); 0,661 МэВ (Cs^{137}); 1,25 МэВ (Co^{60}); 2,75 МэВ (Na^{24}) [130]. Приведенные значения показывают, что в диапазоне преобладания комптоновского рассеяния значения массовых коэффициентов для абсолютно сухой древесины и воды отличаются не более чем на 10 %.

Поскольку, в реальных условиях, древесина обладая той или иной степенью влажности, то ее массовый коэффициент ослабления рассчитывается согласно формуле:

$$\mu_m = \frac{\mu_m \cdot \mu_m W}{1 + W} \quad \mu_m = \frac{\mu_m + \mu_m'' \cdot W}{1 + W}, \quad (1.5)$$

где μ_m – массовый коэффициент абсолютно сухой древесины;

μ_m'' – массовый коэффициент воды;

W – влажность древесины в весовых отношениях.

Таблица 1.9 – Массовые коэффициенты ослабления гамма– излучения

Энергия гамма - квантов, Е, МэВ	Древесина абсолютно сухая, μ_m , см ² /г	Вода, μ_m , см ² /г
0,01	3,77	5,31
0,015	1,20	1,64
0,02	0,594	0,789
0,03	0,300	0,370
0,04	0,229	0,264
0,05	0,201	0,222
0,06	0,188	0,204
0,08	0,171	0,183
0,084	0,170	0,181
0,10	0,163	0,171
0,142	0,147	0,155
0,15	0,143	0,151
0,20	0,130	0,137
0,279	0,116	0,121
0,30	0,113	0,119
0,40	0,101	0,106
0,412	0,100	0,105
0,50	0,091	0,096
0,60	0,085	0,088
0,661	0,082	0,086
0,80	0,075	0,078
1,0	0,067	0,070
1,25	0,061	0,063
1,5	0,055	0,057
2,0	0,047	0,049
2,75	0,039	0,041
3,0	0,037	0,039
4,0	0,032	0,033
5,0	0,028	0,031
6,0	0,025	0,027
8,0	0,022	0,024
10,0	0,021	0,027

При энергиях свыше 40 кэВ массовые коэффициенты абсолютно сухой и влажной древесины (до влажности 100 %) можно считать одинаковыми [128].

В СПб ГЛТА проводились экспериментальные исследования по проверке защитных свойств уплотненной древесины и древесины пропитанной раствором борной кислоты при воздействии нейтронных потоков различной плотности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что коэффициент поглощения быстрых нейтронов полиэтилена и модифицированной древесины одинаковы, а тепловых нейтронов в 2,63 раза больше. Авторы подтверждают, что цельная и измельченная борированная древесина может использоваться для защиты от нейтронных потоков малых и средних энергий. Нейтронозащитные древесные материалы в 20 – 30 раз дешевле применяемых в настоящее время водородосодержащих защитных материалов [131, 132].

1.6 Основные выводы. Задачи исследований

1. Из лущеного шпона и древесных частиц путем прессования может изготавливаться широкий ассортимент изделий для машиностроения, строительства, мебели, товаров народного потребления. Древесные слоистые и плитные материалы являются эффективной заменой цельной древесины, дорогостоящих пластмасс, цветных металлов и других материалов.

2. На деревообрабатывающих производствах образуется большое количество отходов (стружки, опила, пыли и др.), которые не находят рационального использования. Эти отходы, как правило, сухие и чистые, в основном из древесины хвойных пород. Данные отходы практически не используются для производства древесных композиционных материалов с применением синтетических связующих.

3. В настоящее время на отечественном рынке представлена широкая гамма разнообразных материалов, способных выполнять защиту от рентгеновского излучения, среди которых черные и цветные металлы, строительные и композиционные материалы. Основным недостатком этих материалов являются низкие эксплуатационные, конструкционные, экологические, декоративные, свойства и высокая стоимость.

4. Разработка композиционных материалов на основе древесины и древесных отходов, обладающих заранее заданными свойствами (в частности, защита от рентгеновского излучения), является актуальной и своевременной.

На основании сделанных выводов поставлены следующие **задачи работы:**

1. Теоретически исследовать особенности процесса формирования древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами на основе шпона и древесных частиц;

2. Теоретически исследовать поведение предлагаемых композиционных материалов на основе древесины и древесных отходов в момент нахождения их под нагрузкой;

3. Разработать рациональные технологические режимы формирования древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами;

4. Исследовать влияние состава древесно-клеевой композиции на свойства материалов «Плитотрен» и «DS-1»;

5. Разработать рациональные рецептуры древесно-клеевой композиции, для производства композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1»;

6. Исследовать рентгенозащитные свойства предлагаемых композитов;

7. Разработать технологические схемы изготовления древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами;

8. Провести промышленные испытания технологического процесса изготовления предлагаемых древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами

9. Рассчитать экономическую эффективность выполненных разработок.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

2.1 Характеристика предлагаемых древесных композиционных материалов

Анализ научно-технической и патентной литературы показал, что в настоящее время ведется большая работа по изучению и разработке новых древесных композиционных материалов, обладающих разнообразными свойствами. Разработка таких композитов позволяет более рационально использовать древесину и ее отходы и расширить области ее применения.

На основе типовых технологических процессов производства фанеры и древесностружечных плит на базе ФГБОУ ВО УГЛТУ (г. Екатеринбург) были проведены теоретические и экспериментальные исследования по разработке новых древесных композиционных материалов: «Фанотрен А», «Фанотрен Б», «Плитотрен» и «DS-1» [133 - 136], обладающие рентгенозащитными свойствами. Композиты обладают высокими эксплуатационными свойствами, долговечны, легко обрабатываются на деревообрабатывающем оборудовании, их можно рекомендовать в качестве защиты в конструкциях стен, потолков, полов, изготовления дверных полотен, жалюзи, специальной тары и пр. Рассмотрим в отдельности каждый из этих материалов.

«Фанотрен А» (фанера от рентгена) [9, 100, 133] – слоистый композиционный материал выполнен на основе березового лущенного шпона и армирован фольгой, прокатанный из легкоплавкого сплава. Это аналог армированной фанеры. Фольга в данной конструкции выполняет одновременно роль адгезива и рентгенозащитного слоя. Недостатками материала является высокая стоимость материала за счет применения дорогостоящей фольги. Внешний вид материала приведен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Внешний вид древесного композиционного слоистого материала «Фанотрен А»

«Фанотрен Б» [9, 134, 137] – модификация материала «Фанотрен А» – выполнен также на основе березового лущеного шпона, в качестве армирующего слоя – использованы рентгенозащитные слои (РЗС), представляющие собой композиционный материал, состоящий из волокнистого наполнителя (в частности, синтепона), наполненного рентгенозащитной пропитывающей композицией на основе минерального наполнителя (рисунок 2.2). Материал изготавливается из экологически безопасных, недорогих и доступных материалов. Недостаток – трудоемкий технологический процесс изготовления РЗС.



Рисунок 2.2 – Внешний вид древесного композиционного материала «Фанотрен Б»

«Плитотрен» [126, 129] – композиционный материал выполнен на основе отходов древесины, аналог древесностружечной плиты. Композит состоит из древесной стружки (толщиной $0,2 \div 0,4$ мм, шириной $3,5 \div 5$ мм и длиной $4,5 \div 7$ мм, порода древесины в основном – сосна), связующего и минерально-

го наполнителя (рисунок 2.3). Материал выполнен из безопасных материалов на основе отходов деревообработки, но трудоемок в изготовлении.



Рисунок 2.3 – Внешний вид древесного композиционного материала «Плитотрен»

«DS-1» [129, 138] – древесный композиционный плитный материал на основе отходов древесины, аналог плиты МДФ. Композит состоит из мелко-дисперсных древесных частиц (опилок фракции менее 2 мм), порошкового связующего и минерального наполнителя (рисунок 2.4). Достоинством материала является то, что он не токсичен и для его изготовления возможно использование низкокачественной древесины.



Рисунок 2.4 – Внешний вид древесного композиционного плитного материала «DS-1»

Предлагаемые древесные композиционные материалы с рентгенозащитными свойствами по своей конструкции подобны либо клееной армированной фанере, либо плитным материалам с добавлением связующего. Подробно остановимся на вопросах особенностей формирования предлагаемых древесных композиционных материалов.

2.2 Особенности формирования композиционных материалов на основе лущеного шпона

Одним из возможных вариантов формирования древесных композитов является создание слоистых материалов по принципу фанеры. Качество таких материалов зависит от множества факторов но наиболее существенное влияние оказывают: материал матрицы (порода древесного шпона) и вид адгезива, слойность конструкции материала, взаимное расположение слоев шпона и др. [10 – 12, 139 – 144]. Это способствует тому, что можно изменять те или другие характеристики получаемого композита.

Наиболее важным фактором, определяющим оптимальную толщину клеевого слоя в клееной конструкции и как следствие – расход адгезива является величина шероховатости поверхности шпона [145 – 148]. Получаемые в процессе формирования физико-механические и рентгенозащитные свойства разработанного древесного композита «Фанотрен А», а также его себестоимость, напрямую определяются расходом адгезива, которым в предлагаемой конструкции является фольга, прокатанная из легкоплавкого сплава Вуда.

2.1.1 Определение микрогеометрии поверхности лущеного шпона

Для изготовления древесного композиционного материала «Фанотрен А» в качестве несущей основы (матрицы) используется березовый лущеный шпон с высотой неровностей $60 \div 200$ мкм, согласно [149].

Изучение качество поверхности шпона на соответствие требованиям [150] и определение минимального количества адгезива, необходимого для формирования конструкции древесного композита «Фанотрен А» проводилась в лаборатории кафедры Механической обработки древесины и производственной безопасности ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». Для этих целей снимались профилограммы в поперечном направлении с лицевой и оборотной поверхности шпона. Вели-

чина вертикального увеличения составила двести семьдесят, а горизонтального – семьдесят единиц. Съемка проходила с применением лабораторного микроскопа МИС-11 (ГОСТ 7865-77) [151]. Полученные в результате съемки профилограммы и их последующая обработка представлены на рисунках 2.5 и 2.6.

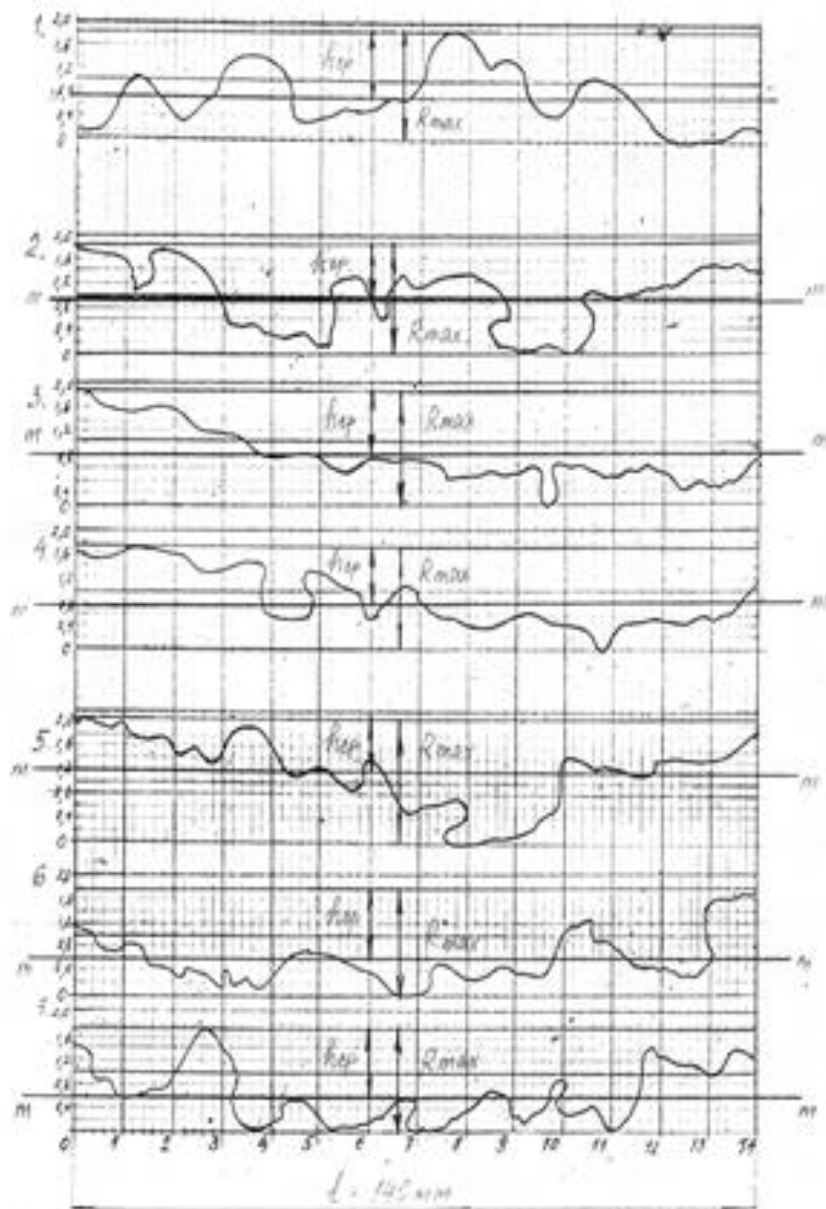


Рисунок 2.5 – Профилограммы лицевой стороны поверхности шпона и их обработка

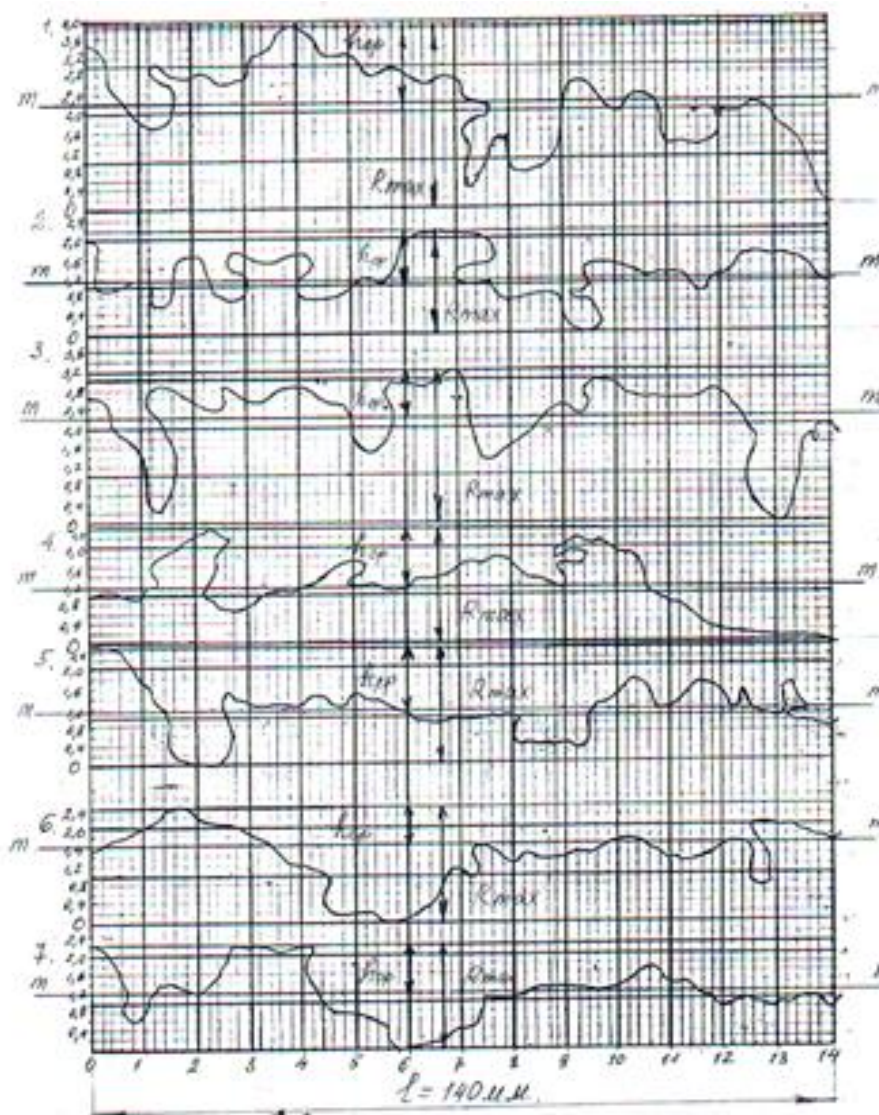


Рисунок 2.6 – Профилограммы обратной стороны поверхности шпона и их обработка

Для получения необходимых исходных данных проводилась предварительная обработка полученных изображений в соответствии с [150, 152] (рисунок 2.7). Положение средней линии определялось с использованием МНК (метода наименьших квадратов). Уравнение средней линии имеет вид:

$$h = a + b(x - \bar{x}), \quad (2.1)$$

где x и h - координаты системы, в которой задается профилограмма;

\bar{x} - точка, лежащая на середине участка профилограммы, равного базовой длине;

a и b - коэффициенты, выбранные с учетом обращения в минимум суммы квадратов уравнения (2.1):

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i; \quad b = \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.2)$$

где α - угол наклона средней линии на профиле, где:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot \Delta x \left[\sum_{i=1}^n h_i x_i' - \sum_{i=1}^n x_i' \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \right]}{(\Delta x)^2 \cdot \left[\sum_{i=1}^n (x_i')^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i' \right)^2}{n} \right] - \sum_{i=1}^n h_i^2 + \frac{\left(\sum_{i=1}^n h_i \right)^2}{n}}, \quad (2.3)$$

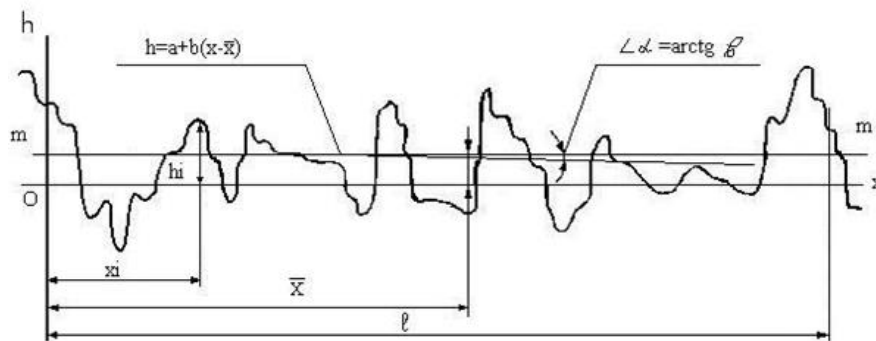


Рисунок 2.7 – Схема определения положения средней линии профиллограммы

где $\sum_{i=1}^n x_i'$ и $\sum_{i=1}^n (x_i')^2$ определяются согласно:

$$\sum_{i=1}^n x_i' = \frac{(x_i')^2 - x_i'}{2}, \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i')^2 = \left(\sum_{i=1}^n x_i' \right) \cdot \frac{2x_i' + 1}{3}, \quad (2.5)$$

где n - количество ординат на базовой длине l :

$$n = \frac{l}{\Delta x}, \quad (2.6)$$

x_i' - значение новых координат:

$$x_i' = \frac{x_i}{\Delta x}. \quad (2.7)$$

Ординаты точек профиля замерялись через каждые 2 мм профилограммы с использованием циркуля и линейки (погрешность измерения линейки колебалась в пределах от 1,5 до 4%). По полученным измерениям определялись следующие характеристики профиля (рисунки 2.5 и 2.6):

а) среднее значение (расстояние от средней линии до линии выступов):

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k h_{cpi}}{k}, \quad (2.8)$$

где: $\sum_{i=1}^k h_{cpi}$ - сумма отдельных замеров;

k - количество участков.

б) высота профиля максимальная (расстояние между линиями выступов и впадин):

$$R_{max} = \frac{\sum_{i=1}^k R_{max i}}{k}. \quad (2.9)$$

С точки зрения теории вероятностей поверхность лущеного шпона, имеющая случайное распределение неровностей (по размерам и формам) можно отнести к случайной анизотропной. Тогда такую поверхность можно описать как реализацию нормального стационарного случайного процесса [153] такими характеристиками, как:

- величина математического ожидания:

$$m_x(t) = [Mx(t)], \quad (2.10)$$

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(t_i), \quad (2.11)$$

- корреляционной функцией вида:

$$K(t, t_1) = M[\dot{x}(t)\dot{x}(t_1)], \quad (2.12)$$

где $\dot{x}(t) = x(t) - m_x(t)$; $\dot{x}(t_1) = x(t_1) - m_x(t_1)$ - соответствующее значение случайной функции.

Для случайной стационарной эргодической функции одна реализация продолжительной протяженности будет равна сумме реализаций той же продолжительности. В этом случае, характеристики случайной функции можно определить как средние по времени t . При большой величине времени t значение корреляционной функции достаточно точно находится при любом τ [154]:

$$\tau = t_1 - t, \quad (2.13)$$

$$K_x(\tau) = M[\dot{x}(t)\dot{x}(t + \tau)], \quad (2.14)$$

тогда для $t + \tau \leq T$ имеем:

$$K_x(t) \approx \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} \dot{x}(t)\dot{x}(t + \tau)dt, \quad (2.15)$$

где T - длина профилограммы;

τ - переменная разность между абсциссами двух сечений профилограммы;

$x(t)$ - ординаты профилограммы в выбранной системе координат;

m_x – средняя арифметическая ордината профилограммы.

Приблизительно найдем корреляционную функцию для $\tau = 0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, \tau$, где Δt – выбранный интервал на оси абсцисс профилограммы [154]:

$$\tau = m\Delta t = \frac{mT}{n}, \quad (2.16)$$

$$K_x\left(\frac{mT}{n}\right) = \frac{1}{n - m} \sum_{i=1}^{n-m} \dot{x}(t_i)\dot{x}(t_{i+m}), \quad (2.17)$$

для $m = 0, 1, 2 \dots$ (рисунок 2.8).

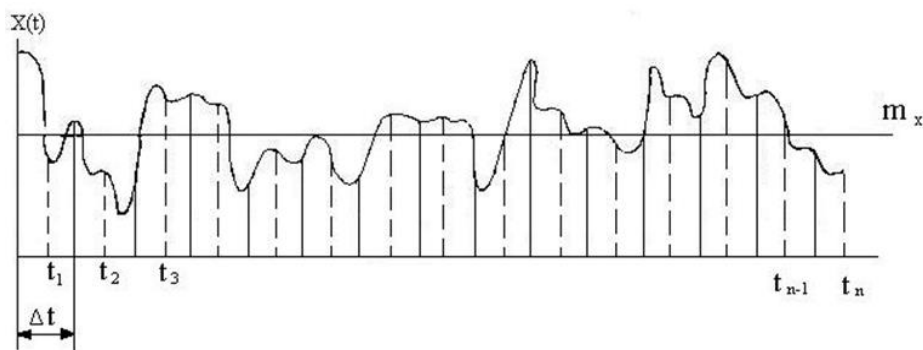


Рисунок 2.8 – Определение характеристик стационарной эргодической функции

Профилограммы, полученные с поверхности лущеного березового шпона, обрабатывались по методике [152] и ГОСТ 7016-2013 [149]. По полученным профилограммам вычислялись корреляционные функции согласно формуле (2.17) с применением *Microsoft Excel 2010* (приложение 1).

На рисунке 2.9 представлены полученные корреляционные функции единичных реализаций шероховатой поверхности лущеного шпона. На основании полученных кривых корреляционных функции разных реализаций, можно предположить, что они изменяются с определенной периодичностью, совершая нерегулярные затухающие колебания в районе нуля.

Оценка качества поверхности шпона проводится по среднему значению (кривая 15) нескольких реализаций.

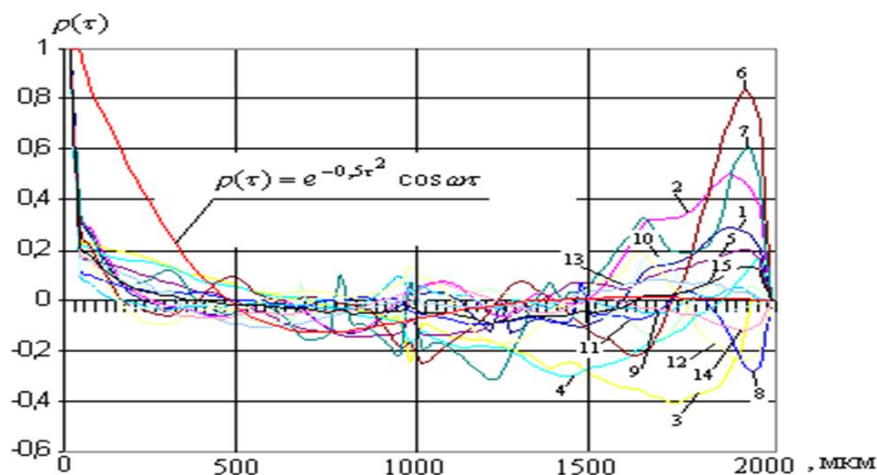


Рисунок 2.9 – Корреляционные функции реализаций шероховатой поверхности лущеного шпона (кривые 1÷15) и аппроксимирующая корреляционная функция

Аппроксимацию полученных корреляционных функций выполним с использованием членов преобразования Лагерра [152, 155]:

$$\rho(\tau) = \sum_{i=0}^n C_i e^{-\alpha(\tau)^k} \cos \omega_i \tau, \quad (2.18)$$

где α , ω - параметры аппроксимации корреляционной функции;
 k – значение коэффициента ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Для описания шероховатости поверхности применяются корреляционные функции первых двух членов ряда, т.е. при $k = 1, 2$ [152, 155]. При $k = 2$ аппроксимации дифференцируемых корреляционных функций имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{I тип} \quad \rho(\tau) = e^{-\alpha\tau^2} \\ \text{II тип} \quad \rho(\tau) = e^{-\alpha\tau^2} \cos \omega\tau \\ \text{III тип} \quad \rho(\tau) = C_1 e^{-\alpha\tau^2} \cos \omega_1\tau + \cos \omega_2\tau \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Воспользуемся аппроксимирующими функциями второго типа, которые достаточно точно совпадают с экспериментальными кривыми (рисунок 2.5). Параметры аппроксимации корреляционной функции вычисляются согласно [152]:

$$\alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{4\lambda} \sqrt{6\lambda^2 - 8}, \quad (2.20)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{2\lambda} \sqrt{6\lambda^2 - 8}}, \quad (2.21)$$

где λ - безразмерный параметр (в пределах от 1,15 до 2,0).

Одной из основных характеристик микрогеометрии шероховатой поверхности является кривая опорной поверхности. Она позволяет судить о распределении неровностей шероховатой поверхности по высоте. Форма кривой опорной поверхности определяется высотой неровностей. Для исключения влияния высоты неровностей рекомендуется рассчитывать ее в относительных величинах [152, 156, 157].

Распределение неровностей шероховатости подчиняется нормальному закону, что справедливо и для поверхности лущенного березового шпона [147], поэтому аналитическое выражение опорной кривой описывается выражением [152–154]:

$$\eta_s = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{1 - 2\varepsilon}{2\sigma} \right) \right], \quad (2.22)$$

где η_s – относительная площадь сечения материала;

Φ – интеграл вероятностей;

ε – относительное сближение;

σ – стандартное отклонение профиля:

$$\sigma = \frac{h_{ck}}{R_{\max}}, \quad (2.23)$$

где h_{ck} – среднее квадратическое отклонение высоты неровностей от средней линии;

R_{\max} – максимальная высота неровностей.

Ввиду того, что при контакте шероховатых поверхностей во взаимодействии вступают только наиболее высокие выступы, что соответствует верхней части опорной кривой, то рекомендуется в этом случае при исследовании деформаций в зоне контакта, ограничиться начальной частью опорной кривой поверхности [156, 157)].

Кривая опорной поверхности в этой части представляется формулой:

$$\eta_s = b\varepsilon^v, \quad (2.24)$$

где b и v – константы.

Принцип построения кривой опорной поверхности поясняется рисунком 2.10. В пределах R_{\max} (начиная от отметки h_{cp}) через 1 мм замерялись опорные длины профиля на всех профилограммах (рисунки 2.5, 2.6) суммировались и определялись относительные величины ε_i и η_{Si} по формулам:

$$\varepsilon_i = \frac{a_i}{R_{\max}}, \quad \eta_{Si} = \frac{\Delta l_i}{L}, \quad (2.25)$$

где ε_i – относительное сближение на данном участке;

a_i – уровень (сближение) отсчитанный по профилограмме от линии h_{\max} , мм;

η_{Si} – относительная опорная длина профиля на данном уровне;

Δl_i – сумма длин отрезков профиля на данном уровне, мм;

L – сумма длин профилограмм, мм.

Определялись значения коэффициентов b и ν . Для этого замеряли опорную длину профиля на уровнях $\varepsilon_1=0,1$; $\varepsilon_2=0,2$; $\varepsilon_3=0,3$. Величину ε_1 , ε_2 , ε_3 находили экспериментально (приложение 2).

Вычисляли значение коэффициентов b и ν , согласно следующим формулам [157]:

-для уровней 1 и 2:

$$\nu_{1,2} = \frac{\lg(\eta_1/\eta_2)}{\lg(\varepsilon_1/\varepsilon_2)}; \quad b_{1,2} = \lg \eta_1 - \nu_{1,2} \lg \varepsilon_1, \quad (2.26)$$

- для уровней 1 и 3:

$$\nu_{1,3} = \frac{\lg(\eta_1/\eta_3)}{\lg(\varepsilon_1/\varepsilon_3)}; \quad b_{1,3} = \lg \eta_3 - \nu_{1,3} \lg \varepsilon_3, \quad (2.27)$$

-для уровней 2 и 3:

$$\nu_{2,3} = \frac{\lg(\eta_2/\eta_3)}{\lg(\varepsilon_2/\varepsilon_3)}; \quad b_{2,3} = \lg \eta_2 - \nu_{2,3} \lg \varepsilon_2. \quad (2.28)$$

Для расчетов принимаем средние значения:

$$\nu = \frac{\nu_{1,2} + \nu_{1,3} + \nu_{2,3}}{3}; \quad b = \frac{b_{1,2} + b_{1,3} + b_{2,3}}{3}. \quad (2.29)$$

Результаты эксперимента представлены в приложение 2 и на рисунке 2.11.

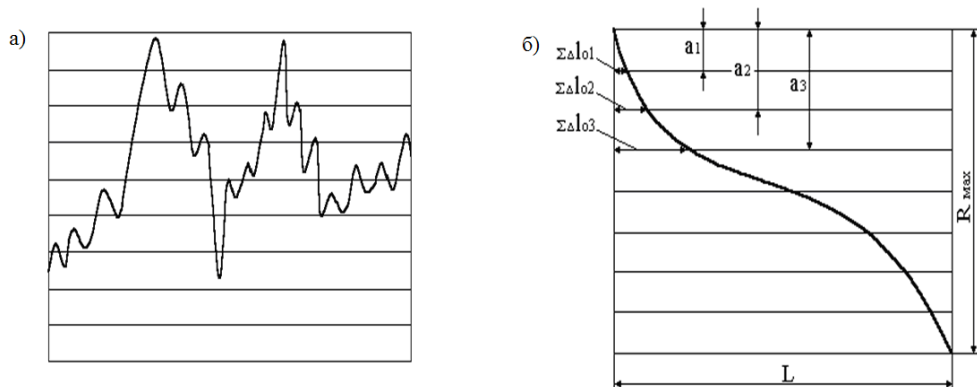


Рисунок 2.10 – Схема построения кривой опорной поверхности:

а) эскиз профилограммы поверхности березового лущеного шпона;

б) принцип построения опорной кривой профиля

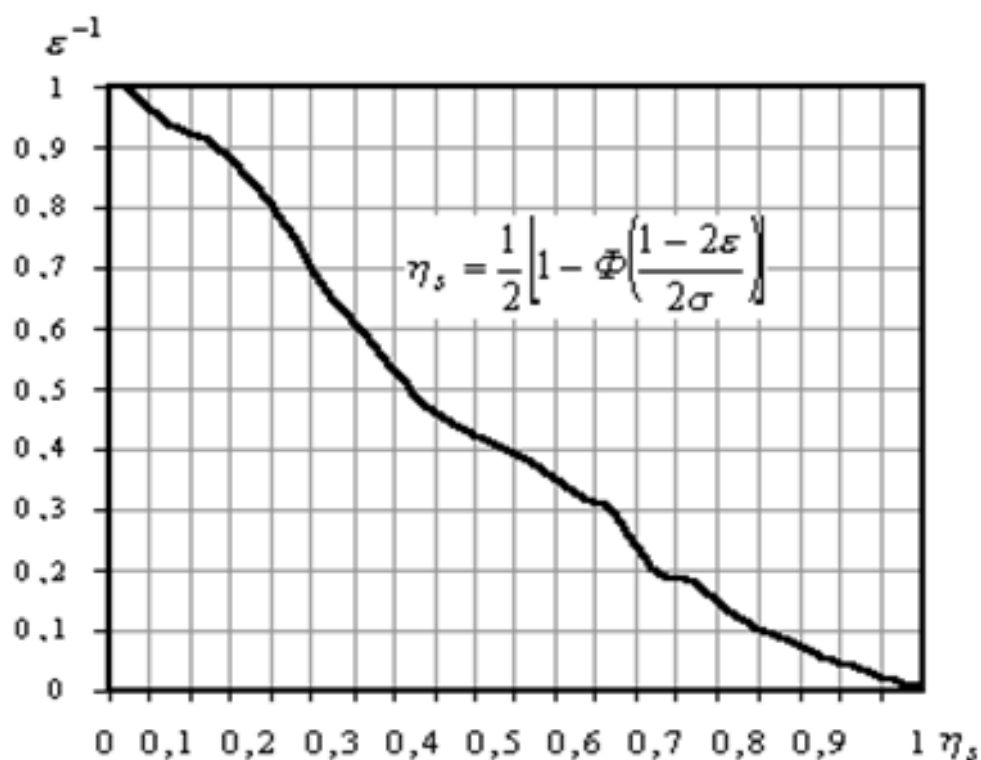


Рисунок 2.11 – Кривая опорной поверхности березового лущеного шпона

Из приведенных методов определения характеристики поверхности лущеного березового шпона остановимся на методе с использованием кривой опорной поверхности, так как по сравнению с методом отождествления профиля, как реализации нормального стационарного случайного процесса, он является наиболее простым, достаточно надежным и точным. В дальнейших расчетах будем исходить из характеристик кривой опорной поверхности лущеного шпона для определения величины зазора между листами шпона в процессе их склеивания и определения необходимой толщины армирующего слоя, обеспечивающего достаточные физико-механические и рентгенозащитные свойства древесному композиционному материалу «Фанотрен А».

Величина зазора между листами шпона и степень заполнения зазора адгезивом (в данном случае, толщина фольги) позволяет регулировать рентгенозащитные свойства материала «Фанотрен А» с заранее заданными параметрами.

2.2.2 Определение толщины армирующего слоя, обеспечивающего физико-механические и рентгенозащитные свойства материалу

Защитные свойства любого рентгенозащитного материала, согласно формуле (1.1), зависят от его толщины. В данном случае, когда основную рентгенозащитную функцию в конструкции материала выполняют армирующие слои, являющиеся одновременно и адгезивом, то рентгенозащитные свойства материала будут напрямую зависеть от ее толщины. Следовательно, задача сводится к определению минимальной толщины фольги, которая бы обеспечивала достаточные физико-механические и рентгенозащитные свойства конструкции разработанного материала. Для решения этой задачи необходимо определить количество адгезива, которое пойдет на заполнение неровностей в процессе контакта листов шпона (величину зазора), на проникновение его в толщину шпона до определенной глубины (обеспечивая прочность конструкции) и на создание сплошного армирующего слоя (создавая рентгенозащитные свойства).

а) Нахождение зазора между листами шпона в процессе их контакта.

Контакт двух шероховатых поверхностей, к которым относятся поверхности лущеного шпона, характеризуются соотношением между объемом материала и объемом воздушного зазора в стыке, т.е. величиной зазора (плотностью стыка) (рисунок 2.12).

Плотность стыка, согласно [156], определяется:

$$\Lambda = \frac{V_m}{(V_m + V_z)}, \quad (2.30)$$

где V_z – объем зазора;

V_m – объем материала, рассчитанный на единицу контурной площади контакта.

При контакте шероховатой поверхности с гладкой поверхностью величина зазора равна [156]:

$$\Lambda = \frac{V_{MO} - V'}{(1 - \varepsilon)A_c R_{\max}} = \frac{V_M}{(1 - \varepsilon)A_c R_{\max}}, \quad (2.31)$$

где V_{MO} – начальный объем материала;

V' – уменьшение объема материала за счет упругой деформации выступов;

ε – относительное сближение;

A_c – контурная площадь.

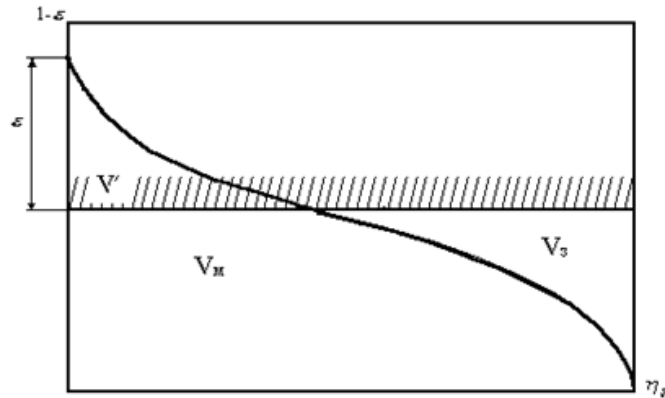


Рисунок 2.12 – Схема расчета плотности стыка при контакте

При пластическом контакте $V' = 0$, т.к. объем материала не меняется. Объем материала в относительных величинах по своему физическому смыслу равен коэффициенту заполнения K_p [156]:

$$K_p \cong 1 - (1/2b)^{1/\nu}, \quad (2.32)$$

тогда для объема материала в стыке имеем:

$$V_M = \left[1 - (1/2b)^{1/\nu}\right] A_c R_{\max} - V', \quad (2.33)$$

а объем зазора будет равен:

$$V_3 = \left[(1/2b)^{1/\nu} - \varepsilon\right] R_{\max} A_c + V'. \quad (2.34)$$

Среднюю толщину зазора можно выразить формулой:

$$\bar{h} = \left[(1/2b)^{1/\nu} - \varepsilon\right] R_{\max} + V'/A_c. \quad (2.35)$$

При пластическом контакте $V' = 0$, тогда

$$\Lambda \cong \frac{1 - (1/2b)^{1/\nu}}{1 - \varepsilon}. \quad (2.36)$$

Относительное сближение определяется исходя из свойств материала и применяемого давления при контакте:

$$\varepsilon = \left(\frac{q_c}{C\sigma_s b} \right)^{1/\nu}, \quad (2.37)$$

где $C\sigma_s \cong HB$ - твердость материала, МН/м²;

q_c – прилагаемое усилие, МПа.

Контурная площадь в зависимости от прилагаемого номинального давления при наличии шероховатости и микроотклонений определяется [156]:

$$A_c = \left(\frac{\pi h_1 h_2 R_{\max}}{4 \sqrt{\Delta_{\max_1} \Delta_{\max_2}}} \right)^{\nu/(\nu+1)} (N/C\sigma_s b)^{1/(\nu+1)}, \quad (2.38)$$

где h_1 и h_2 – соответственно длина и ширина детали;

$\Delta_{\max_1}, \Delta_{\max_2}$ – соответственно максимальное отклонение от правильной формы (по направлениям соответствующим h_1 и h_2);

N – нагрузка.

Расчет толщины и объема зазора между контактирующими поверхностями шпона выполняли с использованием результатов эксперимента и расчетов, полученных в данной работе и данных, опубликованных в литературе (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Исходные данные для вычисления толщины и объема зазора между склеиваемыми поверхностями лущеного шпона

Обозначение, единица измерения	Значение					Источник информации
h_{cp} , мкм	63	57	51	43	32	Экспериментальные данные
R_{\max} , мкм	144	119	93	73	63	
h_1, h_2 , м	1,0					
$\Delta_{\max_1}, \Delta_{\max_2}$, мкм	20					

Обозначение, единица измерения	Значение					Источник информации
B	1,84	1,98	2,08	2,19	3,08	Расчетные данные
ν	0,96	1,09	1,29	1,48	1,97	
$HV, \text{МН/м}^2$	29,8					[158]
$q_c, \text{МПа}$	1,5					[159]
$\rho, \text{г/м}^3$	$9,7 \cdot 10^6$					Расчетные данные

Изменение объема и толщины зазора от характеристики микрогеометрии поверхности лущеного шпона представлены на рисунке 2.13. Из графика видно, что шероховатость поверхности влияет на контакт склеивания листов шпона, уменьшение величины неровностей шпона способствует большему сближению склеиваемых поверхностей, уменьшая толщину и объем зазора между ними. Это справедливо для более ровных и гладких поверхностей.

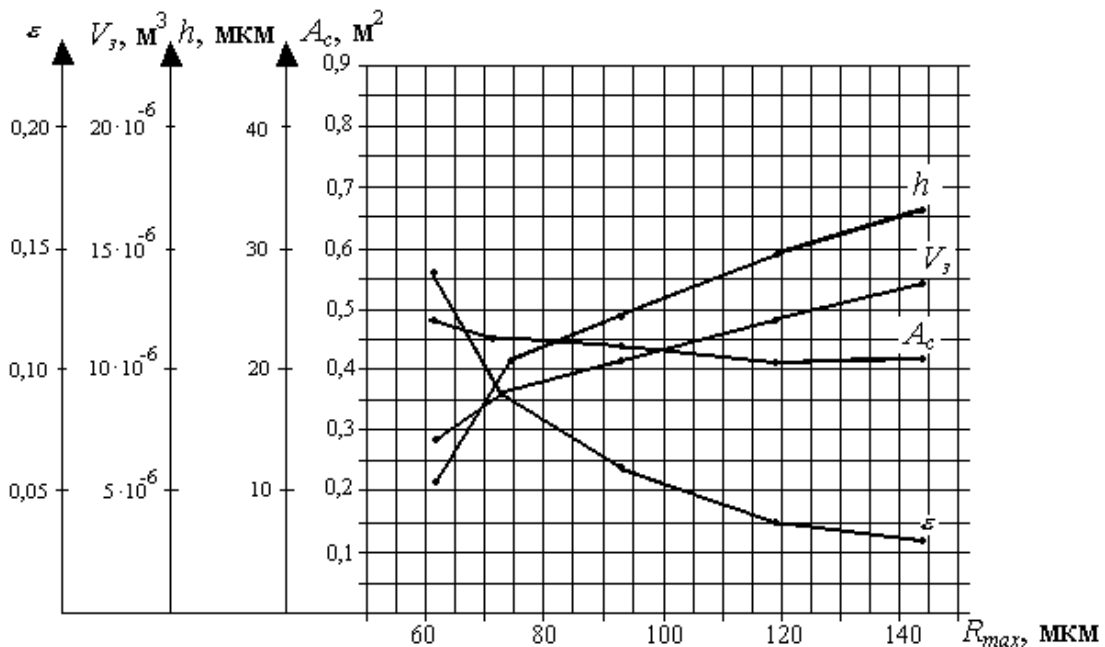


Рисунок 2.13 – Зависимость объема зазора, его толщины и контурной площади контакта от величины шероховатости поверхности шпона

Зная объем зазора можно определить объем адгезива, необходимого для заполнения в процессе склеивания листов шпона, но при этом надо помнить о том, что часть адгезива (фольги) расходуется на проникновение в поры за счет чего образуется прочная механическая связь. Следовательно, необходимо знать объем, занятый структурными элементами древесины.

б) Определение условной пористости древесины шпона

Ранее отмечалось, что древесина имеет пористо-сосудистое строение. Поэтому на степень проникновения адгезива в шпон, помимо шероховатости поверхности и дефектов обработки, существенное влияние оказывает наличие в нем полостей сравнительно большого размера (сосуды, сердцевинные лучи и т.д.).

Пористость древесины в абсолютно сухом состоянии [160] может быть определена так:

$$n_0 = (1 - \rho_0 / \rho) \cdot 100 = 100 - 65\gamma_0, \quad (2.39)$$

где n_0 – пористость древесины в абсолютно сухом состоянии, %;

ρ_0 - плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, г/см³;

ρ - относительная плотность древесного вещества, равная 1,54 г/см³;

γ_0 – плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, г/см³.

Древесина практически всегда содержит какое-то количество влаги, которое, естественно, снижает пористость за счет набухания. В этой связи, определяют условную пористость древесины:

$$n_w = 100 \left(\eta - \frac{G}{V_w \rho} - \frac{G_w - G_0}{V_w \rho_e} \right), \quad (2.40)$$

где n_w – условная пористость древесины при влажности w , %;

G_0 – масса образца древесины в абсолютно сухом состоянии, г;

G_w – масса образца древесины при влажности w , г;

ρ_e – плотность среды, заполняющей поры древесины, г/см³, для воды равна 1;

V_w – объем образца древесины при влажности w , см³;

$$V_w = V_0 + V_p, \quad (2.41)$$

где V_0 – объем образца древесины в абсолютно сухом состоянии, см^3 ;
 V_p – увеличение объема от разбухания, см^3 .

Величину условной пористости можно определить через плотность при определенной влажности:

$$n_w = 100 \left[1 - \frac{\rho_w (100 + 1,54w)}{1,54(w + 100)} \right], \quad (2.42)$$

где w – абсолютная влажность древесины, %;

ρ_w – плотность древесины при соответствующей влажности, $\text{г}/\text{см}^3$;

$$\rho_w = \frac{G_w}{V_w}. \quad (2.43)$$

Если $K = \frac{100 + 1,54w}{1,54(w + 100)}$, тогда

$$n_w = 100(1 - \rho_w K). \quad (2.44)$$

Зависимость плотности древесины от влажности выражается зависимость [161]:

$$\rho_w = \rho_{12} \cdot K_w, \quad (2.45)$$

где ρ_w – плотность древесины при влажности ниже точки насыщения волокна, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_{12} – плотность древесины при 12 %-ной влажности (таблица 2.2);

K_w – пересчетный коэффициент (таблица 2.3).

Изменение плотности древесины от влажности представлено на рисунке 2.14. Полученные данные дают возможность проследить изменения пористости древесины от плотности при определенной влажности (рисунок 2.15), необходимой для дальнейших расчетов в определении минимальной толщины фольги.

Таблица 2.2 – Плотность древесины Уральского региона произрастания [160]

Плотность, кг/м ³		
ρ_{12}	ρ_0	$\rho_{усл}$
643	612	502

Таблица 2.3 – Коэффициенты пересчета K_{12} для плотности древесины [161]

Влаж- ность, %	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K_{12}	0,979	0,982	0,985	0,988	0,991	0,995	0,997	1,000	1,001	1,004	1,006

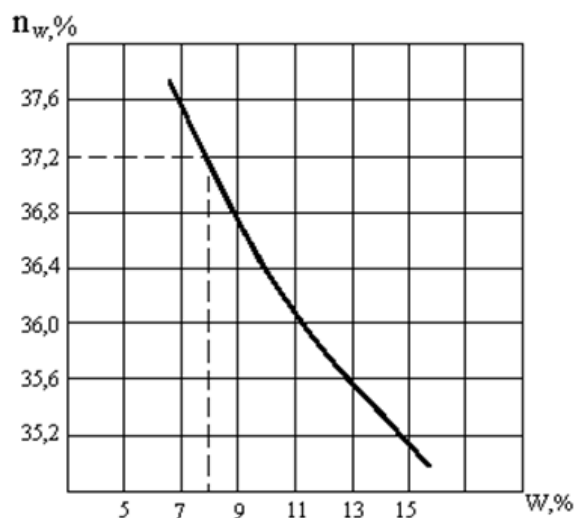


Рисунок 2.14 – Зависимость плотности древесины от изменения ее влажности

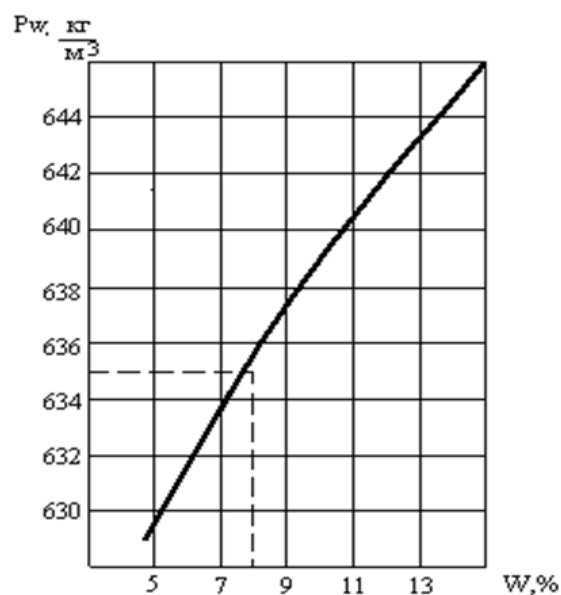


Рисунок 2.15 – Зависимость условной пористости древесины березы от плотности при соответствующей влажности

в) Определение минимальной толщины армирующего слоя, необходимой для формирования материала «Фанотрен А» и распределение ее в клеевом слое

Определим минимальную толщину армирующего слоя, необходимую для формирования материала «Фанотрен А» путем расчета расхода адгезива.

Для обеспечения прочного клеевого соединения необходимое количество адгезива расходуется на [162]:

- а) заполнение неровностей поверхностей шпона, Q_1 ;
- б) капиллярное всасывание адгезива в граничные слои, Q_2 ;
- в) создание сплошного армирующего слоя минимальной толщины, обеспечивающей рентгенозащитные свойства композиту, Q_3 .

Общий расход адгезива (в данном случае, фольги) определяется как:

$$Q_{\text{общ.}} = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (2.46)$$

1. Количество адгезива (фольги), расходуемое на заполнение объема зазора между контактирующими поверхностями лущеного шпона:

$$Q_1 = V_3 \cdot \rho, \quad (2.47)$$

где ρ - плотность сплава Вуда, г/м³.

2. Глубина проникновения армирующего слоя в граничные слои шпона (согласно экспериментальным данным) составляет 0,3 мм. Количество адгезива (фольги), расходуемое на проникновение в граничные слои шпона определяется:

$$Q_2 = V' \cdot \rho, \quad (2.48)$$

где V' - объем адгезива, проникшего на глубину до 0,3 мм при условной пористости древесины 37,2% и влажности 8% (рисунок 2.11).

$$Q_2 = 1 \cdot 0,0003 \cdot \frac{37,2}{100} \cdot 9,7 \cdot 10^6 = 1082,5 \text{ г.}$$

3. Для придания композиту рентгенозащитных свойств необходимо создать сплошной и однородный по толщине армирующий слой. Для определения минимальной толщины сплошного слоя воспользуемся основным зако-

ном ослабления рентгеновского излучения (1.1) и рассчитаем ее через величину линейного коэффициента ослабления сплава Вуда.

Поскольку сплав Вуда является веществом сложного химического состава, то величину линейного коэффициента ослабления можно определить используя его элементарный состав [163 – 165] и линейными и массовыми коэффициентами ослабления его составляющих [96].

Известно, что массовый коэффициент ослабления является величиной сложным образом зависящей от атомного номера элемента и длины волны рентгеновского излучения [97]. Для определения массовых коэффициентов ослабления элементов, входящих в состав сплава, в зависимости от рабочего напряжения рентгеновской трубки, воспользуемся номограммой [166]. Рассчитав массовые коэффициенты ослабления сплава ВУДа, согласно (1.3), определим величины линейных коэффициентов ослабления (1.2).

Преобразовав, формулу (1.1) и задав величину кратности ослабления рентгеновских лучей, прошедших через слой фольги из сплава Вуда рассчитаем толщину защитного слоя фольги. Результаты расчета приведены в приложении 3 и рисунке 2.16.



Рисунок 2.16 – Зависимость линейного коэффициента ослабления фольги из сплава Вуда от ее толщины (цифрами обозначена кратность ослабления рентгеновских лучей)

Из рисунка 2.16 видно, что при рабочем напряжении 75 кэВ (наиболее применяемого в медицине) и кратности ослабления рентгеновского излучения в 40 раз толщина защитного слоя должна составлять не менее 0,36 мм. Поэтому при создании трехслойной конструкции слоистого материала, имеющей два армирующих слоя, толщина каждого должна составлять 0,18 мм.

Количество адгезива, расходуемое на создание сплошного слоя на один квадратный метр композиционного материала «Фанотрен А» составит:

$$Q_3 = V'' \cdot \rho, \quad (2.49)$$

где V'' - объем сплошного слоя толщиной 0,18 мм на площади 1 м².

$$Q_3 = 0,00018 \cdot 9,7 \cdot 10^6 = 1746 \text{ г.}$$

На основании проведенных теоретических расчетов, подкрепленных экспериментальными данными, определена минимальная толщина фольги из сплава Вуда, необходимая для создания конструкции композиционного материала «Фанотрен А», обладающего рентгенозащитными свойствами. Также определена зависимость между толщиной фольги и качеством поверхности березового лущеного шпона (рисунок 2.17).

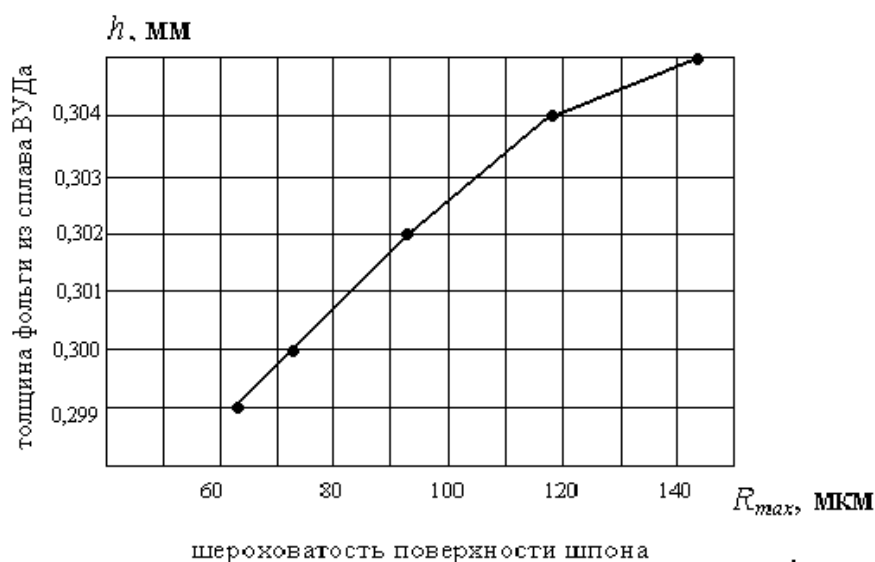


Рисунок 2.17 – Зависимость толщины фольги от величины шероховатости поверхности шпона при формировании материала «Фанотрен А»

По результатам проведенных теоретических исследований можно сделать вывод, что при формировании древесного композиционного материала «Фанотрен А» при увеличении высоты неровностей поверхности шпона толщину фольги, прокатанную из сплава необходимо увеличить. Это обусловлено увеличением величины зазора, образующегося между контактирующими листами шпона, то есть пространства, которое должен заполнить адгезив.

Рентгенозащитные свойства формируемого материала напрямую будут определяться толщиной армирующих слоев, т.к. рентгенозащитные свойства древесины и шпона на ее основе пренебрежительно малы.

2.3 Особенности формирования плитных композиционных материалов на основе древесных частиц

Горячее прессование древесного композиционного материала – это процесс контактного нагрева пористого тела, находящегося во влажном состоянии. При движении парогазовой смеси (ПГС) происходит перенос тепла внутри прессуемого пакета за счет теплопроводности и конвекции. Также большое влияние на процессы переноса тепла оказывают фазовые переходы (кипение – конденсация), что налагает дополнительные трудности при расчетах тепло- и массопереноса внутри пакета.

2.3.1 Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена

Перенос вещества и энергии вследствие нагрева пористых тел, находящихся во влажном состоянии, описывается общими законами термодинамики, используемых для описания необратимых процессов [167].

Необратимость процесса (а реальные процессы в природе неравновесны и необратимы) характеризуется скоростью изменения энтропии во времени:

$$\sigma = \frac{dS_i}{d\tau}, \quad (2.50)$$

где dS_i – изменение энтропии;

$d\tau$ – время, за которое происходит это изменение.

Используя принцип суперпозиции, можно записать:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n J_i \vec{X}_i \quad (2.51)$$

где J_i – плотность потока переносимой субстанции;

\vec{X}_i – термодинамическая сила, создающая соответствующий поток.

Поскольку на тепловой и массовый поток влияние оказывает ряд термодинамических сил, они оказываются взаимосвязанными.

В силу изложенного феноменологические законы переноса можно записать в виде:

$$\vec{J} = \sum_{k=1}^n L_{ik} \vec{X}_k t \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (2.52)$$

где t – температура;

L_{ik} – коэффициенты, характеризующие кинетику процесса.

Коэффициенты L_{ki} характеризуют прямой эффект переноса для данного потока, а коэффициенты L_{ik} ; ($i \neq k$) – возмущающие эффекты, для которых выполняются условия взаимности Онзагера:

$$L_{ik} = L_{ki}. \quad (2.53)$$

В соответствии с вышеизложенным для процессов высокотемпературной сушки влажного пористого материала законы переноса тепла и массы могут быть записаны в виде:

$$\vec{q} = -\lambda \nabla t + \sum_i h_i \vec{J}_i, \quad (2.54)$$

$$\vec{J}_i = -a_m \rho_0 \nabla W - a_m \rho_0 \delta \nabla T - \lambda_p \nabla p. \quad (2.55)$$

В случае использования потенциала влагопереноса закон переноса массы имеет вид:

$$\vec{J}_i = -\lambda_m \nabla \theta - \lambda_m \delta_0 \nabla t - \lambda_p \nabla p. \quad (2.56)$$

Используя выражения (2.54) и (2.55) или (2.54) и (2.56) и уравнения сохранения энергии и массы веществ, а также полагая коэффициенты переноса и термодинамические характеристики процесса постоянными и считая равными температуре скелета тела и связанного вещества, А.В. Лыков и Ю.А. Михайлов сформулировали систему дифференциальных уравнений тепломассопереноса (ТМП) в следующем виде [168]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = k_{11} \nabla^2 t + k_{12} \nabla^2 W + k_{13} \nabla^2 p \quad \frac{dt}{\partial \tau} = k_{11} \nabla^2 t + k_{12} \nabla^2 W + k_{13} \nabla^2 p, \quad (2.57)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = k_{21} \nabla^2 t + k_{22} \nabla^2 W + k_{23} \nabla^2 p, \quad (2.58)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = k_{31} \nabla^2 t + k_{32} \nabla^2 W + k_{33} \nabla^2 p; \quad (5.59)$$

или

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = k'_{11} \nabla^2 t + k'_{12} \nabla^2 \theta + k'_{13} \nabla^2 p, \quad (2.60)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = k'_{21} \nabla^2 t + k'_{22} \nabla^2 \theta + k'_{23} \nabla^2 p, \quad (2.61)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = k'_{31} \nabla^2 t + k'_{32} \nabla^2 \theta + k'_{33} \nabla^2 p, \quad (2.62)$$

в которых коэффициенты $k_{ij} = k'_{ij}$:

$$k_{11} = a + \frac{\varepsilon a_m \delta}{c}, \quad k_{12} = \frac{\varepsilon r}{c} a_m, \quad k_{13} = \frac{\varepsilon r}{c} a_m \delta_p,$$

$$k_{21} = a_m \delta, \quad k_{22} = a_m, \quad k_{23} = a_m \delta_p,$$

$$k_{31} = a_m \delta \left(\frac{p \varepsilon r}{ct} + \beta - \frac{\varepsilon}{c_\theta} \right), \quad k_{32} = a_m \left(\frac{\varepsilon r p}{ct} + \beta - \frac{\varepsilon}{c_\theta} \right),$$

$$k_{33} = a_p + a_m \delta_p \left(\frac{\varepsilon r p}{ct} + \beta - \frac{\varepsilon}{c_\theta} \right),$$

$$k'_{11} = a + \frac{\varepsilon r c_m a_m}{c} \delta_\theta, \quad k'_{12} = a + \frac{\varepsilon r c_m a_m}{c},$$

$$k'_{13} = \frac{\varepsilon r}{c} a_m \delta_p, \quad k'_{21} = a_m \delta_\theta + \frac{a_m}{c} \varepsilon r c_m \theta'_t \delta_\theta + a \theta'_t,$$

$$k'_{22} = a_m + \frac{a_m}{c} \varepsilon r c_m \theta'_t, \quad k'_{23} = \frac{a_m \delta_p}{c_m},$$

$$k'_{31} = a_m \delta_\theta c_m \left(\beta - \frac{\varepsilon}{c_\theta} + \frac{\varepsilon r p}{c t} \right) + \frac{a p}{t},$$

$$k'_{32} = a_m c_m \left(\beta - \frac{\varepsilon}{c_\theta} + \frac{\varepsilon r p}{c t} \right),$$

$$k'_{33} = a_p + a_m \delta_p \left(\beta - \frac{\varepsilon}{c_\theta} + \frac{\varepsilon r p}{c t} \right),$$

где \vec{q} – тепловой поток;

\vec{J}_i – поток массы i -го связанного вещества;

$\vec{J}_i = \sum_i \vec{J}_i$ – суммарный массовый поток;

λ – суммарный коэффициент теплопроводности, характеризующий молекулярный перенос тепла через скелет пористого тела и связанное с ним вещество;

h_i – энтальпия i -го связанного вещества;

$a_m = \frac{\lambda_m}{c_m \rho_0}$ – коэффициент диффузии влаги;

δ – относительный коэффициент термодиффузии, отнесённый к разности влагосодержания;

ρ_0 – плотность сухого скелета пористого тела;

λ_m – коэффициент влагопроводности;

$\delta_\theta = \frac{\delta}{c_m} - \theta'_t$ – термоградиентный коэффициент, отнесённый к разности потенциалов;

λ_p – коэффициент молярного переноса;

$\nabla t, \nabla W, \nabla p, \nabla \theta$ – соответственно градиенты температуры, влагосодержания, избыточного нерелаксируемого давления парогазовой смеси в пористой среде, потенциала влагопереноса I ;

τ – время;

$$a = \frac{\lambda}{c\rho_0} \text{ – коэффициент температуропроводности;}$$

ε – коэффициент фазового превращения, характеризующий объёмную мощность источника парообразной влаги I за счёт фазовых превращений и введённый по соотношению $I = \varepsilon\rho_0 \frac{\partial W}{\partial \tau}$;

r – удельная теплота фазового перехода;

c – удельная теплоёмкость скелета тела;

$\delta_p = \frac{\lambda_p}{a_m\rho_0}$ – относительный коэффициент фильтрационного потока парообразной влаги;

$a_p = \frac{\lambda_p}{c_e\rho_0}$ – коэффициент конвективной диффузии;

$c_e = \frac{MP}{\rho_0 Rt}$ – удельная ёмкость парообразной влаги (ёмкость капиллярного тела по отношению к влажному воздуху);

$\beta = \frac{p\rho_0}{\rho_2\Pi - \rho_0 W}$ – коэффициент, учитывающий изменения степени заполнения пор и капилляров тела влажным воздухом;

c_2 – плотность жидкости;

Π – пористость;

$\theta'_t = \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right)_w$ – температурный коэффициент потенциала массопереноса;

$c_m = \left(\frac{\partial W}{\partial \theta} \right)_t$ – удельная изотермическая массоемкость влажного тела;

W – влагосодержание;

t – температура;

θ – потенциал влагопереноса;

p – давление.

Систему уравнений (2.60) – (2.62) можно решить для граничных условий I, II и III рода используя метод конечных разностей (МКР) [169 - 173]. Численные методы решения систем дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) при глубокой степени проработанности и простоте реализации, имеют следующие недостатки:

- нет общего вида решения, и следовательно отсутствие в решении задачи физического смысла (невозможность проверки правильности ее решения);

- неустойчивость решения, связанных с ошибками при округлении (это свойство системы полученных конечно-разностных уравнений).

Широко распространенные в 40-е – 60-е годы аналитические методы решения дифференциальных уравнений в частных производных ТМП [167, 174 – 190], в связи с развитием компьютерных технологий в 70-е – 80-е годы XX века были потеснены выше упомянутыми численными методами. Но следует отметить, что системы дифференциальных уравнений в частных производных теплообмена (ТМО) с переменными теплофизическими характеристиками, к сожалению, не имеют аналитического решения. Также полученные решения не всегда удается использовать в связи с отсутствием численных значений коэффициентов λ_m , c_m , δ , ε и т.д. для капиллярно-пористых тел, имеющих различную структуру. Также для процессов, происходящих под действием высоких температур (в частности – процесс горячего прессования древесного композиционного материала) коэффициенты переноса тепла невозможно определить, из-за отсутствия методики постановки эксперимента для подобных условий. Поэтому были предложены модели, описывающие процесс тепло- и массопереноса, происходящий в пористых телах при контактном нагреве под действием высоких температур.

Для решения задач ТМП была использована теория случайных марковских процессов [191], в основе которой лежат ячеистые модели [192, 193], но

для описания процессов, происходящих при прессовании древесных композиционных материалов, она не применялась. В 70-е – 80-е годы А.Н. Обливиным и его учениками [194 – 197] была разработана теория прессования древесностружечных плит. Поэтому данную теорию при некоторой ее корректировке можно использовать для анализа процесса горячего прессования древесных композиционных материалов, в том числе с применением связующих на порошковой основе. При этом следует учесть тот факт, что количество влаги, которое вносится со связующим в прессуемый пакет невелико. При этом следует ожидать, что давление ПГС должно быть ощутимо меньше, чем при прессовании ДСтП. Следовательно, произойдет снижение интенсивности процессов ТМП в прессуемом пакете, и снижение интенсивности отверждения применяемого связующего.

При выводе уравнений переноса [194, 197] учитывались предположения:

- «движение паровоздушной смеси (ПВС) внутри пористого тела подчиняется закону Дарси»;
- «диффузионный перенос массы пренебрежимо мал по сравнению с фильтрационным переносом»;
- «скелет пористого тела химически не взаимодействует с ПВС».

На рисунке 2.18 представлена модель потоков массы в элементарном объёме пористого тела.

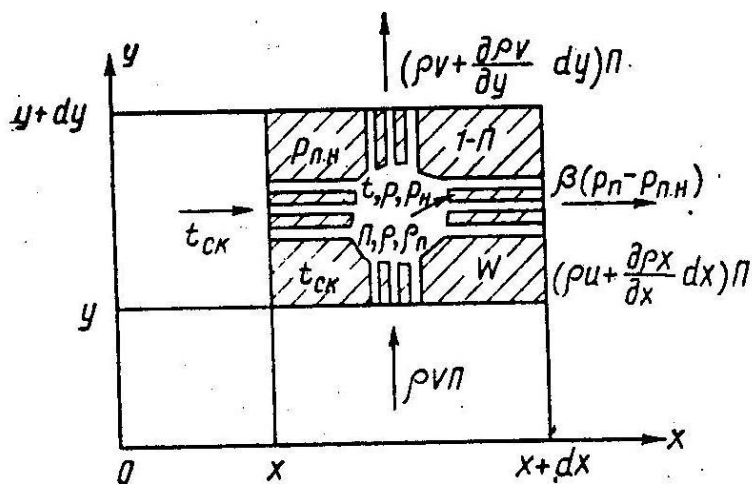


Рисунок 2.18 Модель потоков массы в элементарном объёме пористого тела

На основании представленной модели запишем уравнения переноса ПВС:

$$\Pi \left(\frac{\partial p_n}{\partial \tau} + \frac{\partial (p_n v)}{\partial y} \right) = \begin{cases} \beta_{v_1} (p_{n.n.} - p_n) & p_n \geq p_{n.n.}; \\ 0 & p_n < p_{n.n.}; W = 0 \\ \beta_{v_2} (p_{n.n.} - p_n) & p_{n.n.} > p_n; W \neq 0 \end{cases} \quad (2.63)$$

$$\begin{cases} \rho u = -k_x \frac{\partial p}{\partial x}; \\ \rho v = -k_y \frac{\partial p}{\partial y} \end{cases} \quad (2.64)$$

где $\Pi = \frac{\rho_{ск} - \rho_{n.n.}}{\rho_{ск}}$ – пористость тела;

$\rho_{ск}$ – плотность скелета пористого тела, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$\rho_{п.п}$ – плотность пористого тела, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

ρ – плотность паровоздушной смеси, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

p – давление паровоздушной смеси, Па;

u, v – скорости паровоздушной смеси в направлениях x, y , м/с;

τ – время, с;

β_{v_1}, β_{v_2} – объёмные коэффициенты массообмена, отнесённые к разности парциальных давлений соответственно в условиях конденсации и испарения, $\text{с} \cdot \text{м}^{-2}$;

$p_{n.n.}$ – давление насыщения при температуре $t_{ск}$ скелета, Па;

p_n – парциальное давление пара в паровоздушной смеси, Па (связана с содержанием пара в единице объёма смеси – условной плотностью пара $\rho_{п}$):

$$p_n = \rho_n R_n t, \quad (2.65)$$

$$p = \rho R t, \quad (2.66)$$

где t – температура ПВС, $^{\circ}\text{C}$;

R_n – газовая постоянная пара;

R – газовая постоянная смеси, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$$R = R_n \frac{\rho_n}{\rho} + R_g \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho}\right) = R_n \frac{p_n}{p} + R_g \left(1 - \frac{p_n}{p}\right),$$

где R_g – газовая постоянная воздуха.

Предположим, что процессы испарения влаги и конденсации паров происходят непосредственно на поверхности макропор. В капиллярной системе каналов скелета пористого тела влага при температуре равной температуре скелета находится в жидком состоянии. Изменение во времени количества влаги в единице объема, находящегося в скелете, можно описать уравнением влагосодержания:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \begin{cases} \beta_{v_1} (p_n - p_{n.n}), & p_n \geq p_{n.n}; \\ 0 & p_{n.n} > p_n; W = 0 \\ \beta_{v_2} (p_n - p_{n.n}). & p_{n.n} > p_n; W \neq 0 \end{cases} \quad (2.67)$$

где W - количество влаги в единице объёма, кг/м³.

Для вывода уравнения переноса энергии обратимся к математической модели элементарного объёма пористого тела, показанного на рисунке 2.18 (на схеме отмечены только потоки тепла). Перенос энергии в пористом пакете определяется механизмом теплопроводности, а также конвекцией вследствие движения ПВС в порах пакета с учётом тепловых эффектов, сопровождающих процессы испарения влаги и конденсации пара на поверхности пор.

Согласно модели, приведенной на рисунке 2.19 запишем уравнение теплопроводности для скелета пористого тела:

$$[(1 - \Pi)c_{ск}\rho_{ск} + c_g W] \frac{\partial t_{ск}}{\partial \tau} = (1 - \Pi) \left(\lambda_x \frac{\partial^2 t_{ск}}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 t_{ск}}{\partial y^2} \right) + q_v^{ск}, \quad (2.68)$$

где $c_{ск}$ – удельная массовая теплоёмкость сухого скелета пористого тела, Дж/(кг·°С);

$\rho_{ск}$ – удельная плотность сухого скелета пористого тела, кг·м⁻³;

c_g – удельная массовая теплоёмкость влаги, Дж/(кг·°С);

λ_x, λ_y – коэффициенты теплопроводности скелета пористого тела соответственно в направлении осей x, y , Вт/(м·°С);

q_v^{ck} – интенсивность объемного энерговыделения, (Дж·м⁻³)/с.

Объемное выделение энергии составит:

$$q_v^{ck} = q_{ck}^1 + q_{ck}^2, \quad (2.69)$$

где $q_{ck}^1 = a_v(t - t_{ck})$ – плотность теплового потока в объеме за счет конвективного ТМО при движении ПГС на поверхности пор;

$q_{ck}^2 = r \frac{\partial W}{\partial \tau}$ – плотность теплового потока за счет фазовых превращений влаги

(r – теплота, выделяемая при фазовом переходе, Дж/кг).

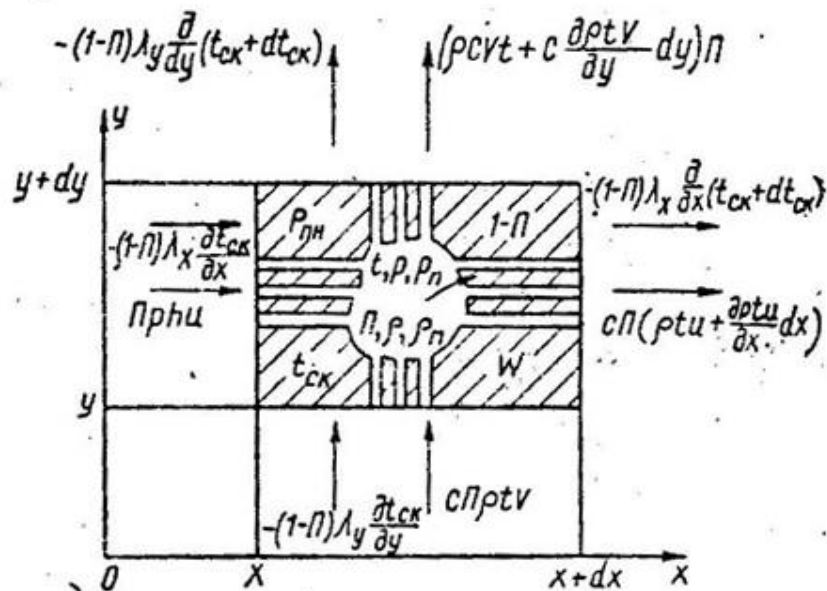


Рисунок 2.19 – Модель потоков тепла в элементарном объеме пористого тела

Перенос энергии в порах прессуемого пакета представляет собой механизм конвекции с учетом тепловых эффектов, которые сопровождают процессы испарения и конденсации, происходящие на поверхности пор. Для образующейся ПВС уравнение переноса энергии имеет вид:

$$c\Pi \left(\frac{\partial(\rho t)}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho t u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho t v)}{\partial y} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) + q_v^n, \quad (2.70)$$

где $q_v^n = q_1^n + q_2^n$, $q_1^n = -q_1^{ck}$, $q_2^n = -q_2^{ck}$;

λ - коэффициент теплопроводности ПВС, Вт/(м·°С).

Система уравнений выглядит следующим образом:

- уравнения фильтрации:

$$\rho u = -k_x \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (2.71)$$

$$\rho v = -k_y \frac{\partial p}{\partial y}. \quad (2.72)$$

- уравнение переноса ПВС:

$$\Pi \left(\frac{\partial \rho_n}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_n u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_n v)}{\partial y} \right) = \begin{cases} \beta_{v_1} (p_{n.n.} - p_n), & p_n \geq p_{n.n.}; \\ 0 & p_n < p_{n.n.}; W = 0 \\ \beta_{v_2} (p_{n.n.} - p_n), & p_{n.n.} > p_n; W \neq 0 \end{cases} \quad (2.73)$$

-уравнение влагосодержания:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \begin{cases} \beta_{v_1} (p_n - p_{n.n.}), & p_n \geq p_{n.n.}; \\ 0 & p_{n.n.} > p_n; W = 0 \\ \beta_{v_2} (p_n - p_{n.n.}), & p_{n.n.} > p_n; W \neq 0 \end{cases} \quad (2.74)$$

-уравнение теплопроводности в скелете пористого тела:

$$[(1 - \Pi)c_{ck}\rho_{ck} + c_s W] \frac{\partial t_{ck}}{\partial \tau} = (1 - \Pi) \left(\lambda_x \frac{\partial^2 t_{ck}}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 t_{ck}}{\partial y^2} \right) + a_v (t - t_{ck}) + r \frac{\partial W}{\partial \tau} \quad (2.75)$$

- уравнение переноса энергии ПВС:

$$c\Pi \left(\frac{\partial(\rho t)}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho t u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho t v)}{\partial y} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) + a_v (t_{ck} - t) \quad (2.76)$$

и следующие соотношения:

$$p = \rho R(t + 273), \quad p_n = \rho_n R_n(t + 273), \quad p = p_n + p_2. \quad (2.77)$$

Вышеприведенная система уравнений позволяет сделать описание процессов ТМО пористого тела, находящегося во влажном состоянии для разных технологических режимов. При этом, для каждого из них, должны быть зада-

ны граничные условия, и следовательно решение полученной системы будет единственным.

2.3.2 Расчет тепло- и массопереноса на основе введения

внутренних объемных коэффициентов тепло- и массообмена

Для горячего прессования ДСтП численное решение системы уравнений (2.71 - 2.77) подробно рассматривается в работах [194, 197]. При времени $\tau = 0$ начальные условия для решения системы уравнений следующие:

$$p = p_0, \quad t = t_{ск} = t_0, \quad W = W_0, \quad (2.78)$$

где p_0 - давление начальные, МПа;

t_0 - температура прессуемого пакета начальная, $^{\circ}\text{C}$;

W_0 - влажность прессуемого пакета начальная, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Т.к. режим прессования ДСтП в основном определяется процессами ТМО, происходящими на его внешних поверхностях, а также плоскостях симметрии прессуемого пакета, то подробно остановимся на основных случаях:

1. прессование на непроницаемых поддонах (н.п.) – для плоскости симметрии с направлением внешней нормали n , при $x = 0$:

$$\left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{н.п.} = \left. \frac{\partial t}{\partial n} \right|_{н.п.} = \left. \frac{\partial t_{ск}}{\partial n} \right|_{н.п.} = 0. \quad (2.79)$$

2. прессование на сетчатых поддонах (п.с.) – для проницаемой поверхности (п.с.) с направлением внешней нормали n (давление ПГС p приблизительно равно давлению окружающей среды p_a) т.е.:

$$p|_{п.с.} = p_a. \quad (2.80)$$

Т.е. удельный массовый расход ПВС вдоль проницаемой поверхности равен нулю. В этом случае граничные условия для температуры скелета пористого скелета:

$$\lambda^* \frac{\partial t_{ck}}{\partial n} \Big|_{n.c.} = \alpha_{n.c.} (t_c - t_{ck}) \Big|_{n.c.} \quad (2.81)$$

где λ^* – коэффициент теплопроводности скелета пористого тела в направлении нормали n к проницаемой поверхности (λ_x или λ_y), Вт/(м²·°С);

$\alpha_{n.c.}$ – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·°С);

t_c – температура среды со стороны проницаемой поверхности, °С.

Граничное условие для уравнения переноса пара определяется особенностями процесса массообмена на проницаемой поверхности. Если известен коэффициент поверхностного массообмена (коэффициент массообмена) $\beta_{n.c.}$ и парциальное давление пара $p_{n.c.}$ в среде:

$$\rho \omega \rho \Big|_{n.c.} = \beta_{n.c.} (p_n - p_{n.n.}),$$

где ω – скорость ПВС смеси в направлении нормали к проницаемой поверхности (u или v).

Тогда:

$$\rho u_{n.c.} = -k^* \frac{\partial p}{\partial n}, \quad (2.82)$$

и вместо предыдущего условия получим:

$$k^* p_n \frac{\partial p}{\partial n} \Big|_{n.c.} = \beta (p_{n.c.} - p_n) \quad (2.83)$$

где k^* – коэффициент проницаемости (фильтрации) пакета в направлении нормали к проницаемой поверхности (K_x или K_y), с.

Граничным условием для уравнения переноса энергии в смеси на проницаемой поверхности служит его вырожденный вариант в виде:

$$Pc \left(\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} + \rho u \frac{\partial t}{\partial n} \right) \Big|_{n.c.} = \tilde{\alpha}_{n.c.} (t_{ck} - t) \Big|_{n.n.}, \quad (2.84)$$

где $\tilde{\alpha}_{n.c.} = \alpha + \frac{c_n \beta (p_{n.n.} + |p_{n.n.} - p_n|)}{2} \Big|_{n.c.}$ – приведённый объёмный коэффициент теплообмена, вычисляемый по условиям на проницаемой поверхности, Вт/(м³·°С).

Подобным приёмом замены граничных условий на вырожденный вариант дифференциального уравнения приходится пользоваться в задачах гидродинамики и ТМО, когда процесс переноса носит объёмный характер и не удаётся описать связь между определяющими его протекание параметрами на поверхности.

1. Для непроницаемой поверхности (н.п.) скорость смеси в направлении нормали к поверхности:

$$u_{n.n.} = 0. \quad (2.85)$$

Из соотношения (2.82) имеем:

$$\frac{\partial p}{\partial n} \Big|_{n.n.} = 0. \quad (2.86)$$

Для уравнения переноса пара и энергии в ПВС через торцы пакета вместо граничных условий на непроницаемой поверхности снова целесообразно использовать вырожденные варианты этих уравнений в виде:

$$P \left(\rho \frac{\partial p}{\partial \tau} + \rho v \frac{\partial p}{\partial y} \right) \Big|_{n.n.} = \frac{\partial W}{\partial \tau} \Big|_{n.n.}, \quad (2.87)$$

$$Pc \left(\rho \frac{\partial p}{\partial \tau} + \rho v \frac{\partial p}{\partial y} \right) \Big|_{n.n.} = \tilde{\alpha}_{n.n.} (t_{ск} - t) \Big|_{n.n.}, \quad (2.88)$$

где v – скорость смеси в тангенциальном направлении x , ортогональном направлению нормали к непроницаемой поверхности;

Теперь, располагая краевыми условиями для основных случаев, можно решить задачу тепло- и массообмена в пакете древесностружечной плиты для любого конкретного режима прессования.

Поскольку аналитическое решение системы уравнений (2.71 – 2.77) с описанными краевыми условиями затруднительно, было выполнено её численное решение. Для этого была введена равномерная пространственная сетка, после чего исходная система вместе с граничными условиями была записана в конечно-разностной форме. В данном случае была реализована явная схема [198]. Для узловой точки с номером (i, j) (ось x разбита на m частей с индексом i , а ось y – на n с индексом j) уравнения примут вид:

- уравнения фильтрации:

$$p_{i,j}u_{i,j} = -k_{x_{i,j}} \frac{p_{i+1,j} - p_{i-1,j}}{2\Delta x}, \quad (2.89)$$

$$p_{i,j}v_{i,j} = -k_{y_{i,j}} \frac{p_{i,j+1} - p_{i,j-1}}{2\Delta y}, \quad (2.90)$$

где Δx , Δy – пространственные шаги сетки.

- уравнение переноса ПВС с учетом (2.89) и (2.90):

$$\begin{aligned} & \frac{p_{i,j}^* - p_{i,j}}{\Delta \tau} - k_{x_{i,j}} \frac{p_{i,j+1} - p_{i,j} - 2p_{i,j} - k_{y_{i,j}} \frac{p_{i,j+1} - p_{i,j-1} - 2p_{i,j}}{\Delta y^2}}{\Delta x^2} = \\ & = \begin{cases} \beta_{v_1} (p_{n.n.} - p_n), & p_{n_{i,j}} \geq p_{n.n_{i,j}}; \\ 0 & p_{n.n_{i,j}} > p_{n_{i,j}}; W_{i,j} = 0 \\ \beta_{v_2} (p_{n.n.} - p_n), & p_{n.n_{i,j}} > p_{n_{i,j}}; W_{i,j} \neq 0 \end{cases} \quad (2.91) \end{aligned}$$

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

- уравнение влагосодержания:

$$\frac{W_{i,j}^* - W_{i,j}}{\Delta \tau} = \begin{cases} \beta_{v_1} \left(p_{n_{i,j}} - p_{n.n_{i,j}} \right), & p_{n_{i,j}} \geq p_{n.n_{i,j}}; \\ 0 & p_{n.n_{i,j}} > p_{n_{i,j}}; W_{i,j} = 0 \\ \beta_{v_2} \left(p_{n_{i,j}} - p_{n.n_{i,j}} \right), & p_{n.n_{i,j}} > p_{n_{i,j}}; W_{i,j} \neq 0 \end{cases} \quad (2.92)$$

- уравнение теплопроводности в скелете:

$$\begin{aligned}
& \left[(1 - \Pi) c_{CK_{i,j}} \rho_{CK_{i,j}} + c_{\theta_{i,j}} W_{i,j} \right] \frac{t_{CK_{i,j}}^* - t_{CK_{i,j}}}{\Delta \tau} = \\
& = (1 - \Pi) \left(\lambda_{x_{i,j}} \frac{t_{CK_{i-1,j}} + t_{CK_{i+1,j}} - 2t_{CK_{i,j}}}{\Delta x^2} + \right. \\
& \left. + \lambda_{y_{i,j}} \frac{t_{CK_{i,j+1}} + t_{CK_{i,j-1}} - 2t_{CK_{i,j}}}{\Delta y^2} \right) + a_{v_{i,j}} (t_{i,j} - t_{CK_{i,j}}) + \\
& + r \frac{W_{i,j}^* - W_{i,j}}{\Delta \tau}.
\end{aligned} \tag{2.93}$$

- уравнение переноса энергии ПВС:

$$\begin{aligned}
& c\Pi \left(\frac{\rho_{i,j}^* t_{i,j}^* - \rho_{i,j} t_{i,j}}{\Delta \tau} + \frac{\rho_{i+1,j} t_{i+1,j} u_{i+1,j} - \rho_{i-1,j} t_{i-1,j} u_{i-1,j}}{2\Delta y} + \right. \\
& \left. + \frac{\rho_{i,j+1} t_{i,j+1} v_{i,j+1} - \rho_{i,j-1} t_{i,j-1} v_{i,j-1}}{2\Delta x} \right) = \\
& = \lambda_{i,j} \left(\frac{t_{i+1,j} + t_{i-1,j} - 2t_{i,j}}{\Delta x^2} + \frac{t_{i,j+1} - t_{i,j-1} - 2t_{i,j}}{\Delta y^2} \right) + \alpha_{v_{i,j}} (t_{CK_{i,j}} - t_{i,j})
\end{aligned} \tag{2.94}$$

Для реализации схемы решения (2.89 – 2.94) была разработана специальная программа в вычислительной среде MathCAD – 12 [199, 200].

Таким образом, численное решение по изложенной схеме позволит всесторонне на физической основе проанализировать процессы ТМО в рассматриваемых условиях.

Нетрудно заметить, что система уравнений (2.71 – 2.77) не замкнута, т.к. не определены объёмные коэффициенты ТМО α_v и β_v . Теоретическому и экспериментальному определению этих коэффициентов посвящено достаточно много работ [201 – 203], в которых исследуется ТМО в пористых телах различной структуры. Однако обобщение разнообразных данных по α_v и β_v для пористых тел, состоящих из частиц нерегулярной формы, до сих пор не проведено, и для их определения в каждом конкретном случае требуются самостоятельные эксперименты. Эти эксперименты трудоёмки, и для их проведения необходима сложная экспериментальная установка.

В работах [194, 196, 197] приводятся экспериментальные данные, обработка которых позволила получить критериальные уравнения для определения объёмных коэффициентов ТМО в капиллярно пористом теле, состоящем из древесных частиц:

$$Sh_v = 1,8 \cdot 10^{-4} Re_k^{0,49} \quad (2.95)$$

$$Nu_v = 2,1 \cdot 10^{-4} Re_k^{0,49} \quad (2.96)$$

где $Sh_v = \frac{\beta_v d_э^2}{D}$ – число Шервуда;

$Nu_v = \frac{\alpha_v d_э^2}{\lambda}$ – число Нуссельта;

$Re_k = \frac{q_m d_э}{\nu}$ – число Рейнольдса;

D – коэффициент диффузии, м²/с;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

$d_э$ – эквивалентный размер, м;

q_m – удельный массовый расход газа, кг/(с·м²).

Рассмотрим решение системы (2.71 – 2.77) для следующего режима прессования (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Режим прессования древесного композиционного материала

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1.	температура плит пресса, °С	170
2.	давление прессования, МПа	2,0
3.	толщина плиты, мм	16
4.	тип прессования	плоское, с поддонами на дистанционных планках
5.	влажность стружки, %	7,0
6.	количество связующего, м.ч. на 100 м.ч. древесных частиц	15
7.	тип связующего	порошковое

Решение системы ДУЧП проведено при следующих значениях параметров [194]. Исходные данные для решения задачи тепломассопереноса представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Исходные данные для решения задачи тепломассопереноса

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1.	коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·°С);	$1,4 \cdot 10^{-3}$
2.	коэффициент диффузии, D , м ² /с	$1,2 \cdot 10^{-9}$
3.	плотность древесинного вещества, ρ_{cp} , кг/м ³	1,54
4.	атмосферное давление, ρ_r , МПа	0,1
5.	теплоемкость ковра $c_{ск}$, кДж/(кг·°С);	1,98
6.	коэффициент фильтрации, k , с	10^{-8}
7.	теплота фазового перехода, r , кДж/кг	2250
8.	плотность воды, ρ_v , г/см ³	1,0
9.	пористость ковра, P	0,7

Результаты решения приведены на рисунках 2.20 – 2.23.

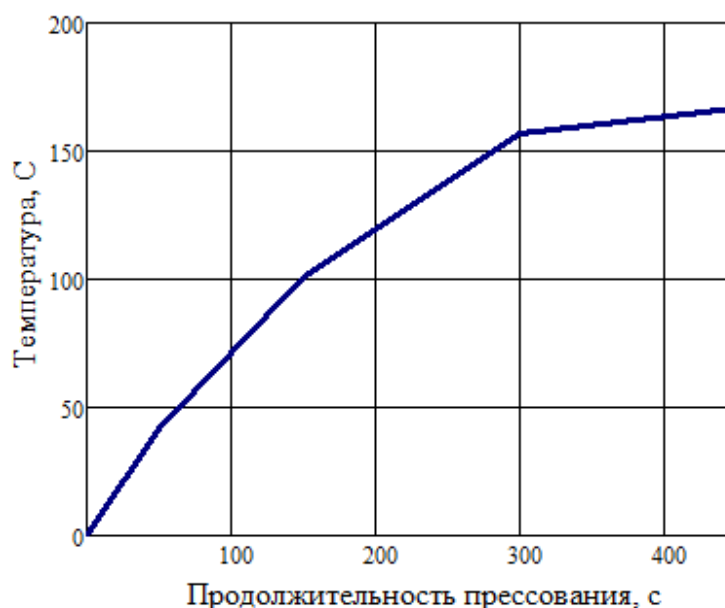


Рисунок 2.20 – Изменение температуры во времени в центре прессуемого пакета

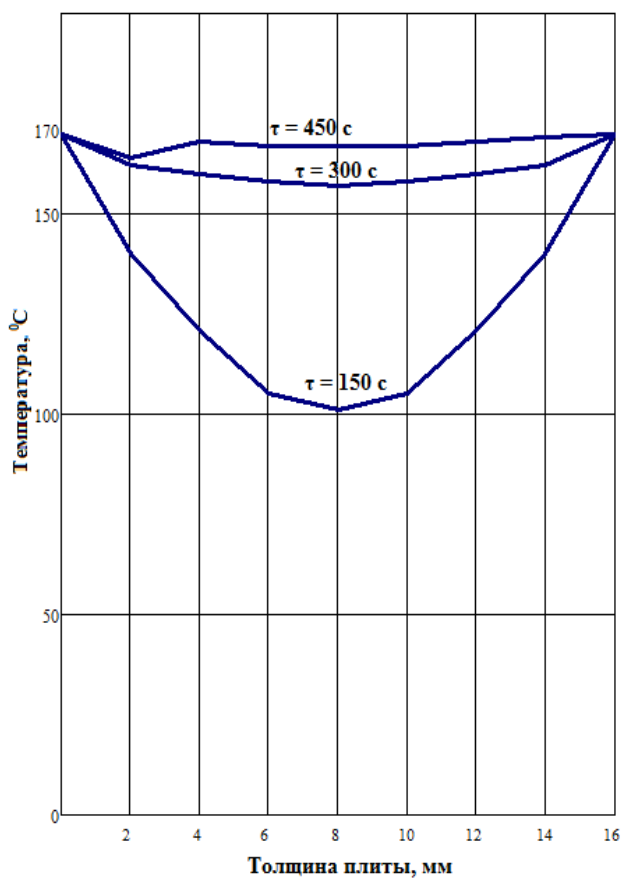


Рисунок 2.21 – Распределение температуры по сечению пакета в различные моменты времени

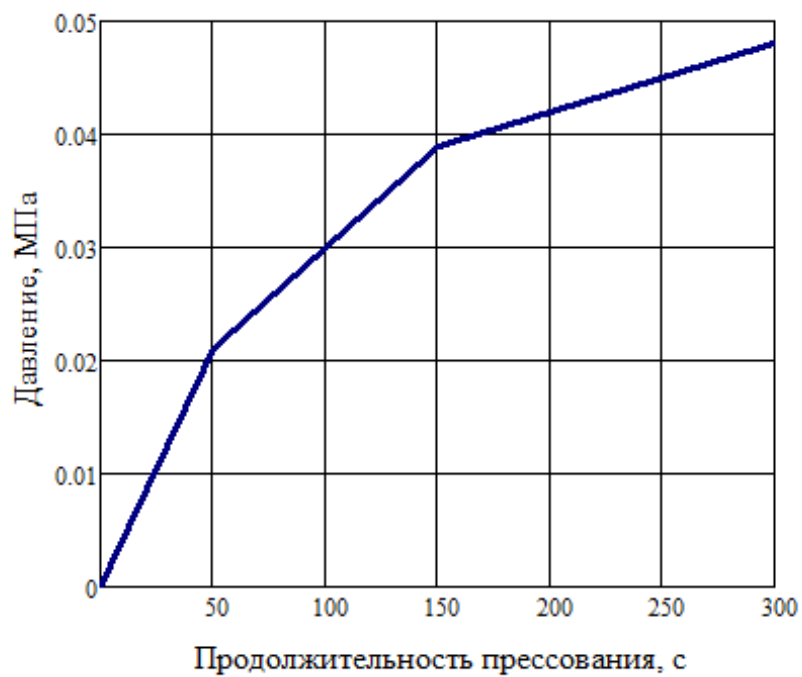


Рисунок 2.22 – Изменение давления во времени в центре прессуемого пакета

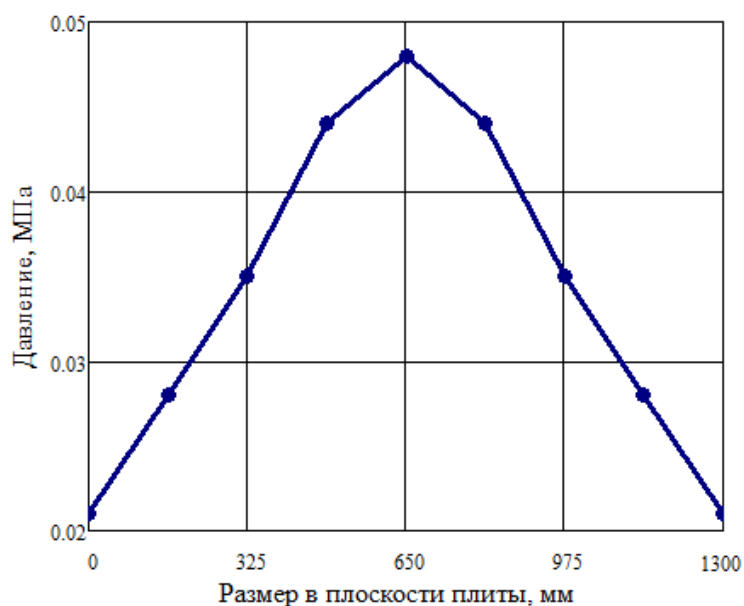


Рисунок 2.23 – Распределение давления в плоскости плиты

Анализ результатов решения системы дифференциальных уравнений в частных производных теплопереноса позволяют заключить следующее:

1. Давление ПГС в прессуемом пакете достигает примерно вдвое меньшей величины, чем его аналогичные значения при прессовании древесностружечных плит [194] (рисунки 2.18 – 2.19). Это обусловлено тем, что имеющееся в прессуемом пакете количество влаги также примерно вдвое меньше.

2. Ожидаемое время достижения максимальных величин давления ПГС в центре пакета также существенно (примерно втрое) больше, чем при прессовании древесностружечных плит в аналогичных условиях [194] (рисунок 2.18).

3. Градиент давления в плоскости плиты также не значителен по сравнению с прессованием древесностружечных плит ($P_{\max}/P_{\min} = 2,3$) (рисунок 2.19).

4. Всё сказанное выше позволяет заключить, что малые величины давления ПГС смеси и его градиента обуславливают незначительный перенос тепла в плоскости плиты за счёт конденсации и конвекции. Это приводит к довольно существенному увеличению времени прогрева прессуемого пакета (рисунки 2.16 и 2.17). Это позволяет, с одной стороны, 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. С другой стороны, снижение интенсивности прогрева пакета приведёт к соответствующему снижению скорости отверждения связующего, что потребует увеличения времени выдержки прессуемого пакета под давлением.

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

2.4 Оценка прочностных показателей древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами

В настоящее время композиционные материалы широко применяются в инженерной практике, поскольку позволяют создавать конструкции с уникальным весом, прочностными и диссипативными характеристиками, которых практически невозможно достичь использованием традиционных конструкционных материалов. Для использования таких материалов требуется знание их особенностей, и в частности прочностных характеристик [204], тем более, что предлагаемые древесные композиционные материалы с рентгенозащитными свойствами планируется использовать в строительстве и отделке помещений с повышенным радиационным фоном, элементах мебели и защитных экранах, ширм и т.д.

2.4.1 Математическое описание поведения пластин в момент нахождения их под действием нагрузки

Предел прочности при статическом изгибе это одна из важнейших эксплуатационных характеристик любого материала, в т.ч. и композиционных, так как большая часть изделий испытывает в процессе эксплуатации деформацию статического изгиба и сжатия [204].

При исследовании механических свойств прочностного характера разработанных древесных композиционных материалов, ставилась задача поиска определенной математической модели, основанной на результатах эксплуатационных исследований. Эта модель, позволяет получить объект, поведение которого под нагрузкой можно описать математическим уравнением [205 – 208].

Дифференциальное уравнение в частных производных для прямоугольной пластины решается в рядах, где в качестве переменных обычно берутся значения в прямоугольной системе координат (по x и y).

Расчет пластин с прямоугольным сечением сложнее, чем симметричных круглых, т.к. перемещения (прогибы) и напряжения несимметричных пластин определяется в функции не одного, а двух независимых переменных [207, 209].

Если же пластина свободно опирается по четырем сторонам и находится под действием распределенной нагрузки, то наибольший прогиб имеет место при $x = y = 0$, т.е.:

$$f_{\max} = \alpha \cdot \frac{\rho \cdot a^4}{E \cdot h^3}, \quad (2.97)$$

где: ρ - равномерно распределенная нагрузка;

α - коэффициент, зависящий от отношения $\frac{a}{b}$;

a, b – соответственно меньшая, большая сторона пластины;

h – толщина пластины.

E – модуль упругости материала пластины.

Формула (2.97) справедлива и для пластины прямоугольной формы со стороной a .

При расчете за основной силовой фактор принята величина максимального внутреннего изгибающего момента для определения предела прочности и максимального касательного напряжения при разрушении.

Максимальные изгибающие моменты M_x и M_y , из расчета на единицу длины сосредоточены в одной точке и определяются по формулам:

$$M_{x(\max)} = \beta \cdot \rho \cdot a^2, \quad M_{y(\max)} = \gamma \cdot \rho \cdot a^2, \quad (2.98)$$

где: β, α, γ - коэффициенты для некоторых значений $\frac{b}{a}$ $\mu = 0,3$, приведенные в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Значения коэффициентов β, α, γ

$\frac{b}{a}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	5	∞
α	0,0433	0,0616	0,0770	0,0906	0,1017	0,1106	0,1336	0,140	0,1416	0,1422
β	0,0479	0,0626	0,0753	0,0862	0,0948	0,1017	0,1189	0,123	0,1246	0,1250
γ	0,0479	0,0501	0,0506	0,0493	0,0479	0,0464	0,0404	0,0384	0,0375	0,0375

Если пластина закреплена по четырем краям, то максимальный прогиб также наблюдается в центре пластины (рисунок 2.24).

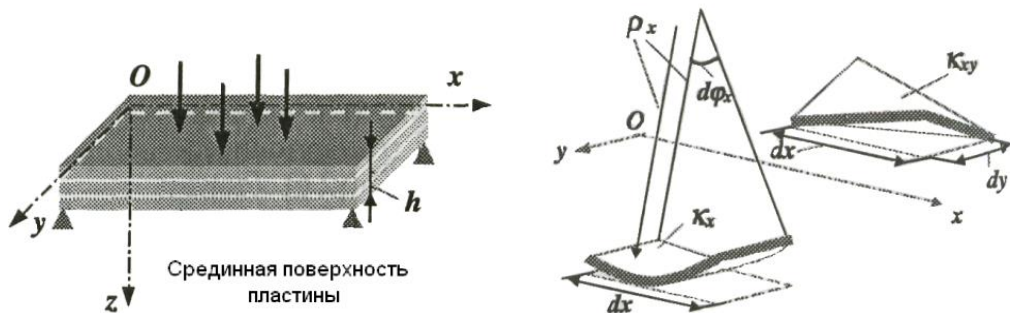


Рисунок 2.24– Схема нагружения линейного элемента при деформации изгиба

Пластина - тело призматической формы, высота которого h сравнительно мала с наименьшим характерным размером b .

Если отношение, $\frac{1}{80} \leq \frac{h}{b} \leq \frac{1}{5}$, но более $\frac{1}{80} \div \frac{1}{100}$ - это тонкая пластина или просто пластина; если $\frac{h}{b} < \frac{1}{80}$ - это мембранная пластина; если $\frac{h}{b} < \frac{1}{3}$ - это плита.

Поскольку в настоящее время наибольшее практическое применение в разных отраслях промышленности находят композиционные пластины, то представляет интерес их расчета и испытаний на величину статического изгиба.

У тонких пластин плоскость, параллельная основаниям, и делящая расстояние между ними пополам, называется срединной. Оси координат x и y располагаются на срединной плоскости. Перемещения вдоль осей x и y обозначим u и v . Ось z показывает направление внешних, поперечных изгибающих нагрузок, а f - направление прогиба пластины. Координатная система считается неподвижной.

В основе теории прогиба пластин лежат следующие гипотезы Кирхгофа [210 – 214]:

- срединная плоскость пластины искривляется, но не деформируется;
- любой линейный элемент, перпендикулярный срединной плоскости, остается перпендикулярным к ней и после изгиба, причем длина его не изменяется;
- продольные слои пластины не давят друг на друга ($\sigma_z = 0$).

Эти гипотезы близки к гипотезам, на которых основывается теория изгиба балок, поэтому напряжения, в пластинках распределяются так же, как и в балках при изгибе (рисунок 2.25)

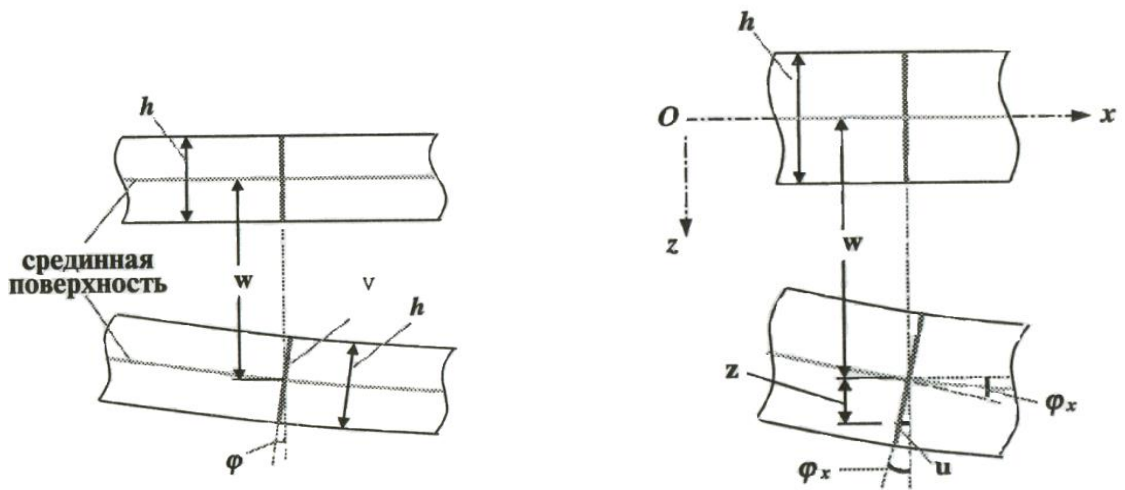


Рисунок 2.25 – Распределение напряжений в пластинке при изгибе

Величины нормальных и касательных напряжений в пластинах определяются формулами:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{I_x} \cdot z, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{I_y} \cdot z, \quad (2.99)$$

$$\tau_{xz} = \frac{6Q_x}{h^3} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right), \quad \tau_{yz} = \frac{6Q_y}{h^3} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right), \quad (2.100)$$

где: $I_x = \frac{bh^3}{12}$, $I_y = \frac{b^3h}{12}$ – момент инерции прямоугольной пластины;

M_x, M_y – изгибающие моменты, отнесенные к единице длины пластины;

Q_x, Q_y – поперечные силы, отнесенные к единице длины пластины;

z – расстояние до нейтрального слоя.

Изгибающие моменты и поперечные силы определяются при разрушающей функции прогиба $W(x, y)$ из следующих зависимостей [210. 215]:

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right), \quad M_y = -D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right), \quad (2.101)$$

$$Q_x = -D \left(\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y^2} \right), \quad Q_y = -D \left(\frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} \right), \quad (2.102)$$

где: $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ – цилиндрическая жесткость;

E – модуль упругости;

μ – коэффициент Пуассона материала пластины.

Функции прогибов описывается уравнением Софи – Жермен [206, 210, 211]:

$$\nabla^4 W(x, y) = \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 f}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 f}{\partial y^4} = \frac{1}{D} q(x, y), \quad (2.103)$$

где $q(x, y)$ – интенсивность распределенной нагрузки на верхней поверхности пластины.

Решение уравнения Софи – Жермен для прямоугольной пластины при произвольных граничных условиях в замкнутой форме получить не удастся. Точное решение в аналитической форме этого уравнения возможно лишь в некоторых частных случаях геометрического вида пластины, нагрузки и условий ее закрепления на опорах [211 – 215].

При решении используются следующие граничные условия закрепления пластины:

- для шарнирно – опорного края:

$$f = 0; \quad \frac{d^2 f}{dy^2}; \quad (2.104)$$

- для свободного края:

$$M_x = Q_x = 0; \\ \frac{d^2 f}{dx^2} + \mu \frac{d^2 f}{dy^2} = 0; \quad \frac{d^3 f}{dx^3} + (2 - \mu) \frac{d^3 f}{dx dy^2} = 0. \quad (2.105)$$

Для прямоугольных пластин, шарнирно-опертых по контуру и нагруженных некоторой распределенной нагрузкой $q(x, y)$, аналитическое решение было найдено Навье [212]:

$$W = \frac{16q}{\pi^6 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{m\pi x}{A}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{B}\right)}{mn \left(\frac{m^2}{A^2} + \frac{n^2}{B^2}\right)}, \quad (2.106)$$

где $m = 1, 3, 5, \dots, \infty, n = 1, 3, 5, \dots, \infty$;

A и B - размеры пластины соответственно в направлении осей x и y .

Уравнение деформированной срединной поверхности пластины под действием сосредоточенной силы P , приложенной в любой точке вид [212]:

$$W = \frac{4P}{\pi^4 ABD} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{m\pi x}{A}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{B}\right)}{mn \left(\frac{m^2}{A^2} + \frac{n^2}{B^2}\right)} \cdot \sin\left(\frac{m\pi x}{A}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{B}\right) \quad (2.107)$$

Для инженерной практики используются приближенные (численные), но достаточно точные методы решения рассматриваемой краевой задачи [211, 215, 217, 219]. Наиболее мощным и современным средством приближенного решения разнообразных задач математической физики, ориентированным на эффективное использование ЭВМ является метод конечных элементов (МКЭ) [216 – 220]. Этот метод вобрал положительные стороны метода конечных разностей (МКР) и метода Рэлея-Ритца [216] и основан на законе сохранения энергии, записанного в форме принципа виртуальных перемещений.

Суть МКЭ заключается в следующем [217, 219]:

1. Тело представляется в виде набора элементов с объемом V_k , т.е.:

$$V = \sum_{k=1}^K V_k, \quad (2.108)$$

где k - количество рассматриваемых элементов.

2. В каждом элементе V_k аппроксимируются искомые перемещения:

$$u = U_k \cdot f_k(x), \quad U_k = \{u_{k1}, u_{k2}, \dots\}, \quad f_k(x) = \{f_{k1}, f_{k2}, \dots\}, \quad (2.109)$$

где $f_k(x)$ - вектор известных функций, выбираемый расчетчиком;

U_k - вектор искомых узловых перемещений.

3. На каждом элементе вычисляется работа внешних сил и накопленная упругая энергия элемента.

4. Все найденные величины подставляются в закон сохранения, например, в принцип возможных перемещений. В качестве δu берутся какие-либо возможные перемещения. Обычно в качестве них берутся соотношения $\delta U = U_k^0 \cdot f_k(x)$, но с заданными значениями узловых перемещений U_k^0 . При этом для получения системы уравнений поступают следующим образом. Сначала принимается $u_{k1}^0 = 1$, $u_{k2}^0 = u_{k3}^0 = \dots = 0$, далее $u_{k2}^0 = 1$, а все остальные переменные приравниваются к нулю и т.д. В результате получается столько уравнений, сколько задано неизвестных.

Достоинствами метода конечных элементов является [219]:

- исследуемые объекты могут иметь любую форму и различную физическую природу: твердые деформируемые тела, жидкости, газы, электромагнитные среды;
- конечные элементы могут иметь различную форму, в частности криволинейную, и различные размеры;
- можно исследовать однородные и неоднородные, изотропные и анизотропные объекты с линейными и нелинейными свойствами;
- можно решать как стационарные, так и не стационарные задачи;
- можно решать контактные задачи;
- можно моделировать любые граничные условия;
- вычислительный алгоритм, представленный в матричной форме, формально единообразен для различных физических задач и для задач различной размерности, что удобно для компьютерного программирования;
- на одной и той же сетке конечных элементов можно решать различные физические задачи, что облегчает анализ связанных задач;

- разрешающая система уравнений имеет экономичную разреженную симметричную ленточную матрицу «жесткости», что ускоряет вычислительный процесс на ЭВМ;

- удобно осуществляется иерархическая дискретизация исследуемой области на подобласти с образованием суперэлемента, что позволяет эффективно использовать параллельное решение задачи.

2.4.2 Моделирование соотношения «напряжение-деформация»

древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами

а) моделирование соотношения «напряжение-деформация» материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» проводилось с использованием компьютерной модели в виде пластины, состоящей из трех слоев.

Для определения их прочностных показателей разработанных композиционных материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» были созданы оболочечные модели трехслойной пластины, представленные на рисунке 2.26. Образец имеет форму параллелепипеда размером 150×50×4 мм (для «Фанотрен А») и 150×50×9,5 мм (для «Фанотрен Б»). Модели состоят из слоев А и Б – березовый лущеный шпон, причем верхние и нижние слои имеют расположены вдоль пластины, толщина слоев – 1,5 мм. Слой В – это фольга прокатанная из сплава Вуда, толщиной 0,3 мм (для «Фанотрен А»), или рентгенозащитный слой (РЗС), толщиной 3 мм.

Для моделирования использовались упругие постоянные материалов, входящих в конструкции композитов. Для древесного шпона эти значения выбраны согласно [221].

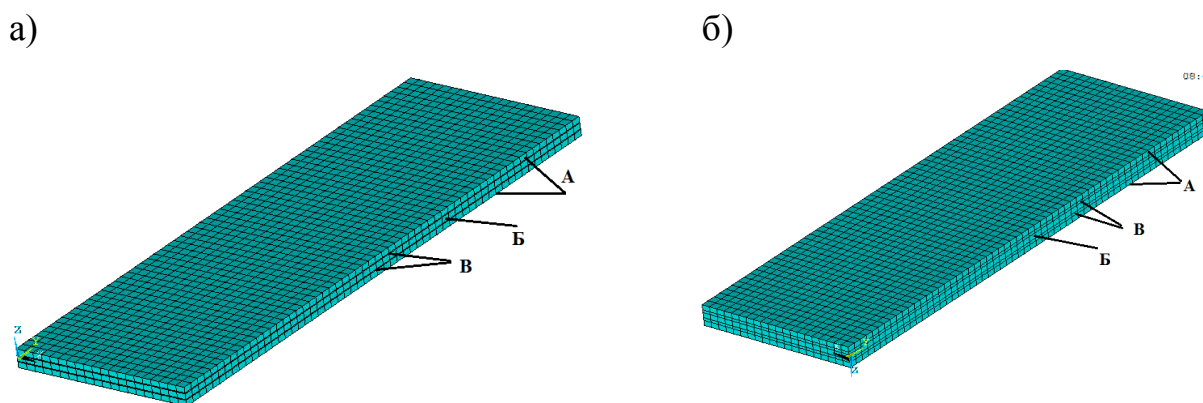


Рисунок 2.26 – Оболочечная конечно-элементная модель материала:

а) «Фанотрен А», б) «Фанотрен Б»

Из проведенных экспериментов по определению упругих постоянных аморфных металлов согласно [13] были сделаны выводы, что модуль Юнга аморфного сплава где-то на 30% меньше, чем модуль Юнга того кристаллического металла, который является основой сплава. Такая же зависимость наблюдается и в отношении модуля сдвига. Поскольку сплав Вуда – это висмутовый сплав (содержит 50% висмута) и относится к баббитам, которые в свою очередь представляют собой аморфные металлы, то модуль Юнга и модуль сдвига сплава примем согласно вышесказанному. Коэффициент Пуассона аморфных сплавов обычно близок к 0,4 - это промежуточное значение между кристаллическими металлами (0,3) и резиной (0,5) [222].

В качестве упругих постоянных рентгенозащитного слоя (РЗС) использованы значения определенные для баритовой штукатурки [13, 223]. Данные по значениям упругих постоянных материалов, используемых в модели, представлены в таблице 2.7.

Моделирование соотношения «напряжение-деформация» образцов разработанных слоистых материалов производилось в программе инженерных расчетов ANSYS, основанной на реализации метода конечных элементов (МКЭ). В расчете использовалась оболочечный конечный элемент SHELL 181, изображенный на рисунке 2.27, который подходит для анализа тонких и умеренно толстых оболочек. Это четырехузловой элемент, имеющий шесть сте-

пеней свободы в каждом узле: сдвиги в направлениях x , y и z и повороты вокруг осей x , y и z .

Модель закреплялась за два нижних противоположных ребра, причем одно ребро фиксировалась по трем координатам, а второе - по двум, тем самым имитировалась скользящая опора. Нагрузка составляла 380 Н (для «Фанотрен А») и 290 Н (для «Фанотрен Б») и прикладывалась к группе узлов в центре.

Таблица 2.7 – Значения упругих постоянных материалов

Наименование постоянной	Материал слоя			
	А (шпон поперек волокон)	Б (шпон вдоль волокон)	В (армирующий слой)	
			сплав Вуда	РЗС
1	2	3	4	5
Модуль Юнга по X, ГПа	12,1	0,605	10,2	1,54
Модуль Юнга по Y, ГПа	0,605	12,1		
Модуль Юнга по Z, ГПа	0,9438	0,9438		
Коэффициент Пуассона по X	0,697	0,426	0,4	0,1
Коэффициент Пуассона по Y	0,426	0,697		
Коэффициент Пуассона по Z	0,451	0,451		
Модуль сдвига по X, ГПа	3,56	0,21	рассчитано программой	
Модуль сдвига по Y, ГПа	0,21	3,56		
Модуль сдвига по Z, ГПа	0,32	0,32		
Плотность, кг/м ³	620	620	9720	1800

Результаты расчета образцов материалов в виде полей напряжений по фон Мизесу представлены на рисунках 2.28 и 2.29.

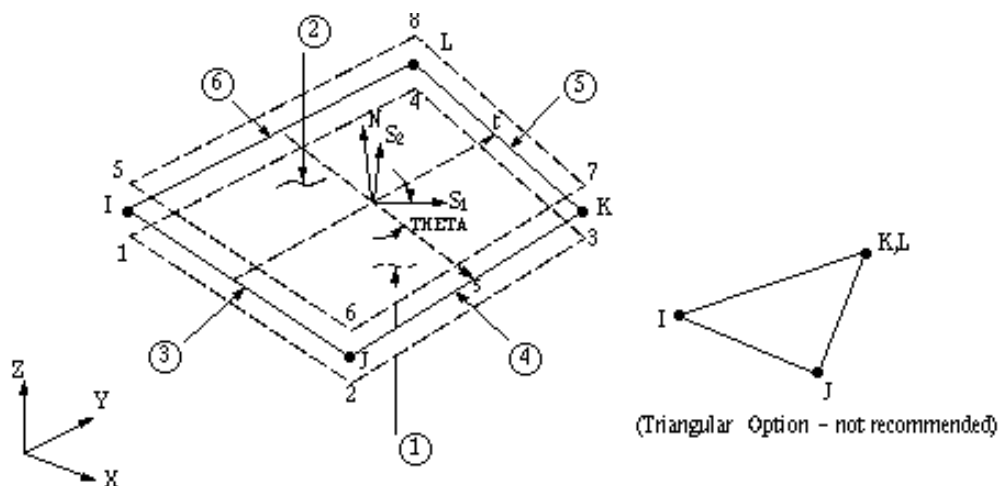


Рисунок 2.27 – Вид оболочечный конечный элемент SHELL 181

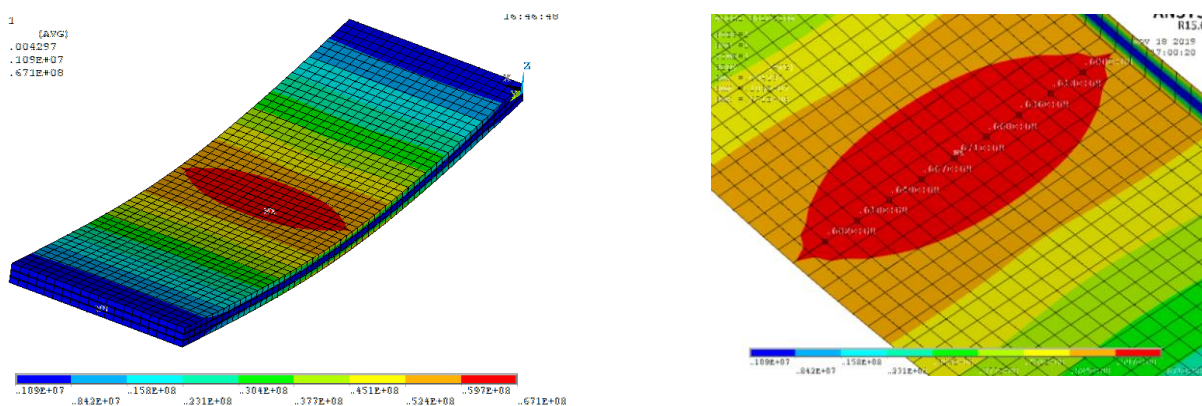


Рисунок 2.28 - Поле напряжений материала «Фанотрен А»,
максимальное напряжение в образце 67,1 МПа

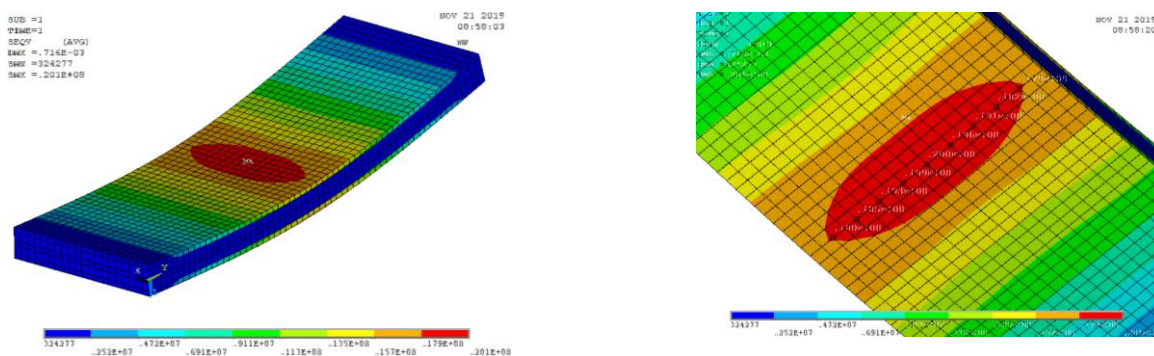


Рисунок 2.29 - Поле напряжений материала «Фанотрен Б»,
максимальное напряжение в образце 20,1 МПа

Полученные поля перемещений образцов материалов представлены на рисунке 2.30.

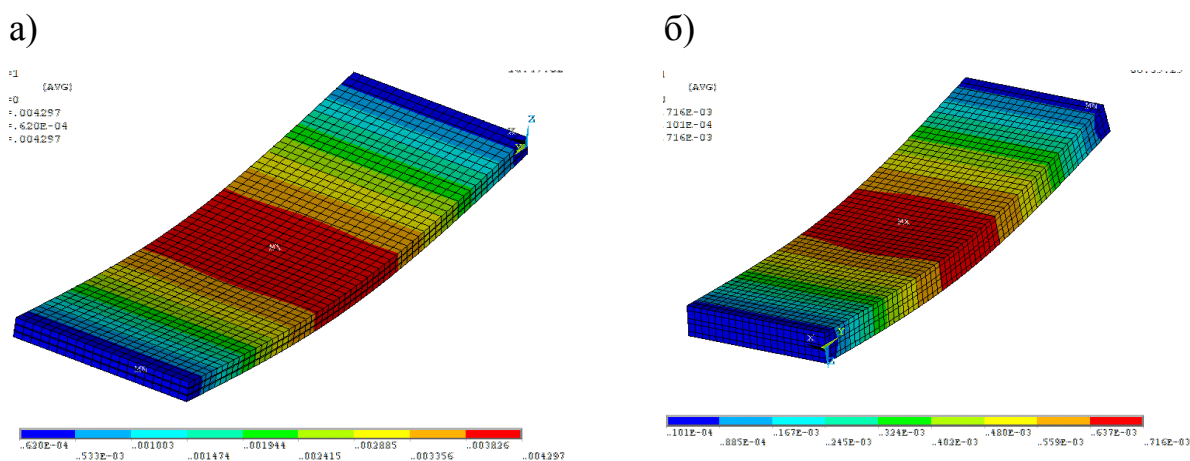


Рисунок 2.30 – Поле перемещения материала: а) «Фанотрен А», максимальный прогиб в образце 4,3 мм; б) «Фанотрен Б», максимальный прогиб в образце 0,7 мм

Полученные модели применялись для объяснения вариантов перераспределения напряжений в образцах различной толщины (слойности), как самого материала, так и клеевых слоев и шпона, возникающих вследствие больших градиентов нагружения в зонах поперечного сечения и жесткости слоев материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б».

Рассчитаны поля перемещений и напряжений для разных толщин армирующих слоев (приложения 4 и 5), представленные таблице 2.8 и на рисунках 2.31 и 2.32.

Таблица 2.8 – Результаты расчета полей перемещений и напряжений

Толщина армирующего слоя, мм	Напряжение, МПа	Перемещение (прогиб), мм
Материал «Фанотрен А»		
0,2	72,8	4,8
0,3	67,1	4,3
0,5	57,4	3,4
Материал «Фанотрен Б»		
0,8	40,1	2,1
1,7	26,6	1,1
3,0	20,1	0,7

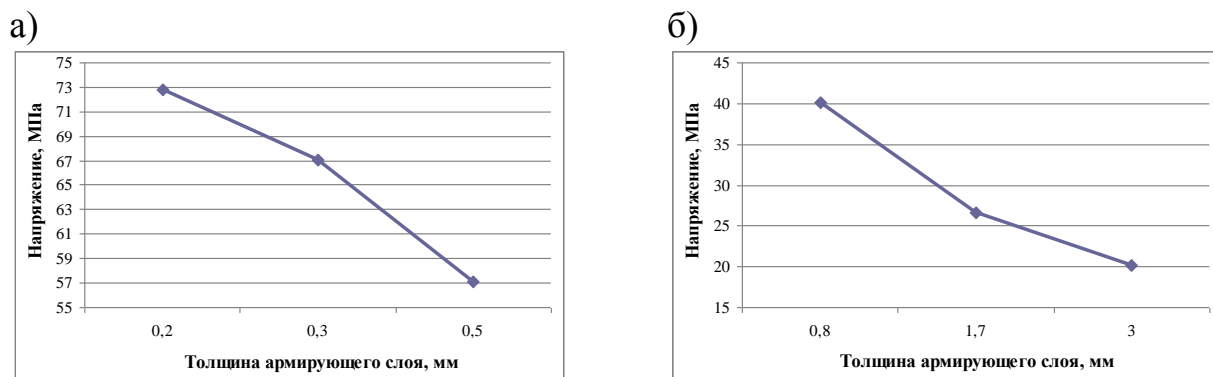


Рисунок 2.31 – График зависимости расчетных напряжений от толщины армирующего слоя для материалов: а) «Фанотрен А»; б) «Фанотрен Б»

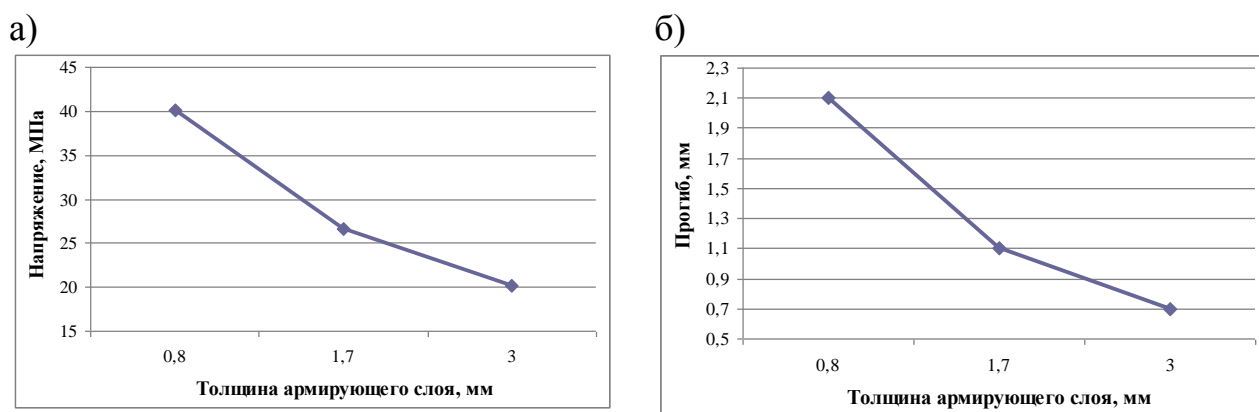


Рисунок 2.32 – График зависимости расчетного прогиба от толщины армирующего слоя для материалов а) «Фанотрен А»; б) «Фанотрен Б»

б) моделирование соотношения «напряжение-деформация» материала «Плитотрен» проводился с использованием компьютерной модели в виде однородной пластины [224 - 226].

Для определения прочностных показателей создана объемная конечно-элементная модель, изображенная на рисунке 2.33. Образец имеет форму параллелепипеда размером 150×50×13 мм. Нагрузка составляла 630 Н и прикладывалась к группе узлов в центре. Усредненные значения упругих постоянных материалов, используемые в модели, приведены в таблице 2.9 [59].

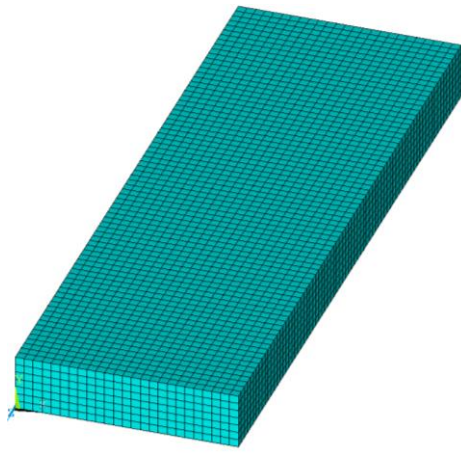


Рисунок 2.33 - Объемная конечно-элементная модель материала «Плитотрен»

Таблица 2.9 – Усредненные значения упругих постоянных материалов, используемых в модели

Наименование постоянной	Материал «Плитотрен»
Модуль Юнга, ГПа	2
Коэффициент Пуассона	0,35
Плотность, кг/м ³	950

В модели в качестве оболочного конечного элемента использовался восьмиузловой кубический конечный элемент (рисунок 2.34). Закрепление модели выполнялось аналогично вышеописанному.

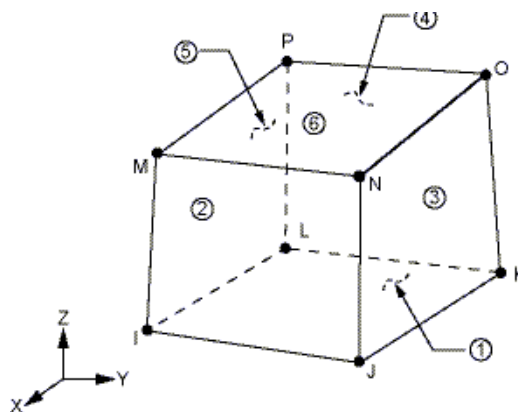


Рисунок 2.34 - Восьмиузловой кубический конечный элемент

Результаты расчета образца материала «Плитотрен» в виде полей напряжений по фон Мизесу представлены на рисунке 2.35.

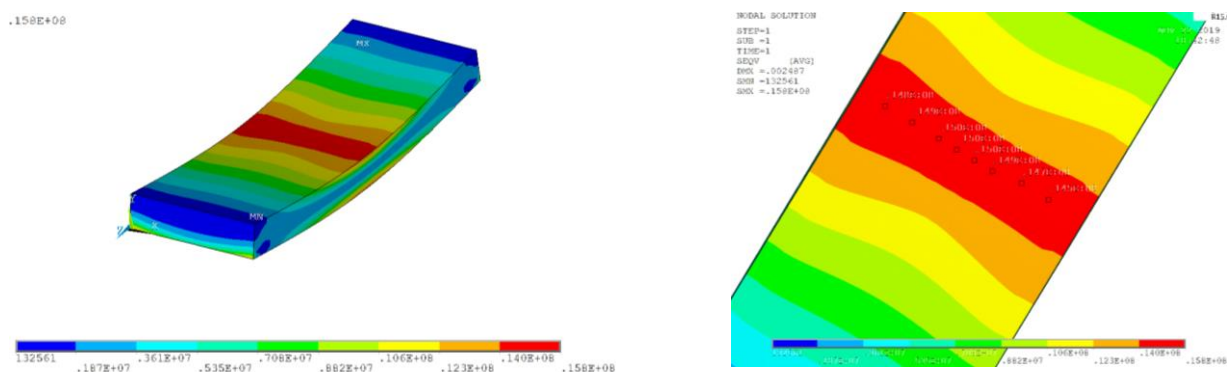


Рисунок 2.35 – Поле напряжений материала «Плитотрен», максимальное напряжение в образце 15 МПа

Полученные поля перемещений образца материала «Плитотрен» представлены на рисунке 2.36.

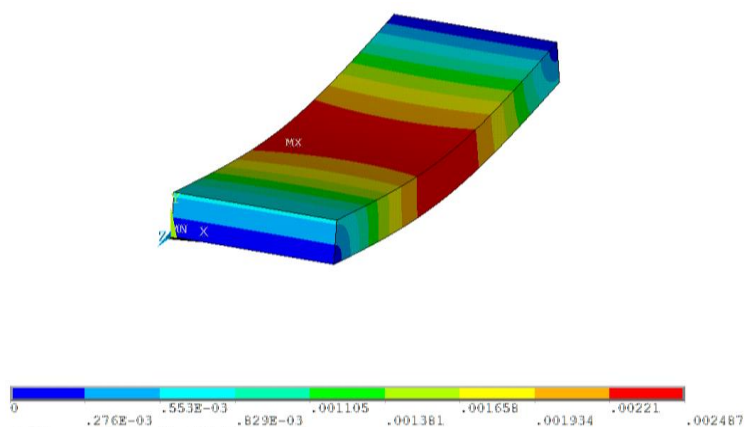


Рисунок 2.36 – Поле перемещения материала «Плитотрен», максимальный прогиб в образце 2,5 мм

Полученные модели применялись для объяснения вариантов перераспределения напряжений в образцах различной толщины, возникающих вследствие больших градиентов нагружения в зонах поперечного сечения и жесткости материала «Плитотрен».

Рассчитанные поля перемещений и напряжений для разных толщин композиционного материала «Плитотрен» (приложение 6), представленные таблице 2.10 и на рисунках 2.37 и 2.38.

Таблица 2.10 – Результаты расчета полей перемещения и напряжений

Толщина материала армирующего слоя, мм	Напряжение, МПа	Перемещение (прогиб), мм
13	15,0	2,5
16	10,3	1,4
22	5,6	0,6

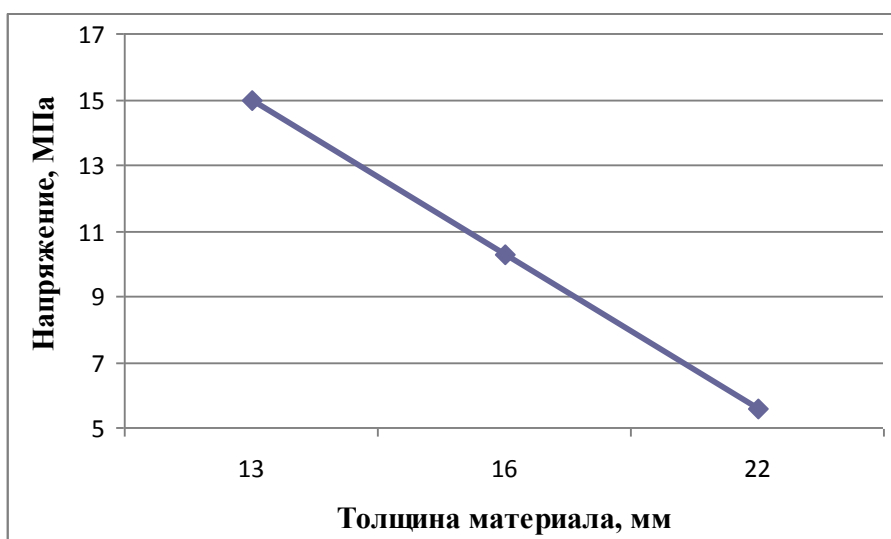


Рисунок 2.37 – График зависимости расчетных напряжений от толщины материала «Плитотрен»

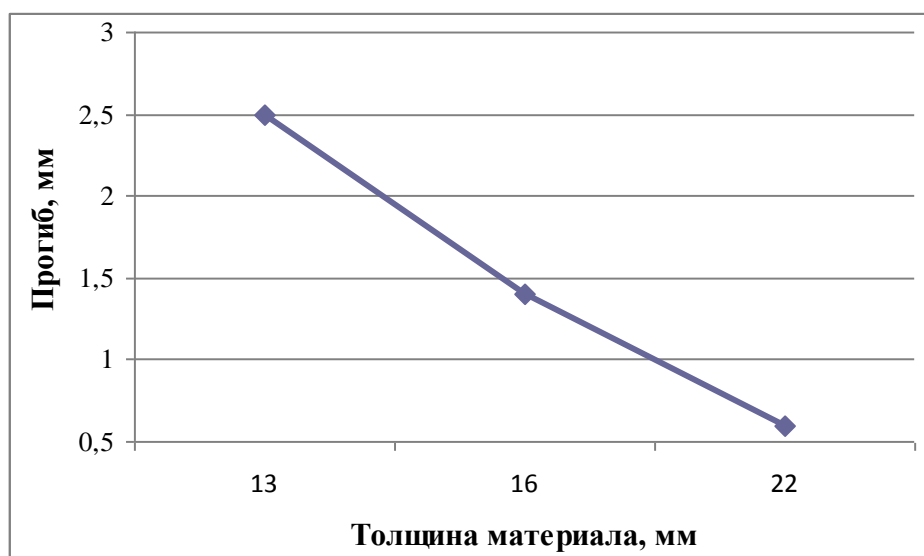


Рисунок 2.38 – График зависимости расчетного прогиба от толщины материала «Плитотрен»

2.5 Выводы по главе

Анализ результатов приведенных исследований позволил заключить следующее:

1. Шероховатую поверхность лущеного шпона следует отнести к случайной анизотропной, ее профиль характеризуется профилограммой, представляющей реализацию нормального стационарного случайного процесса. Распределение неровностей на поверхности лущеного шпона подчиняется математическому описанию корреляционными и аппроксимирующими функциями второго типа.

2. Методика, предложенная для расчета контактного взаимодействия шероховатых поверхностей в машиностроении, с использованием кривой опорной поверхности достаточно точно отражает процесс контакта листов древесного лущеного шпона в процессе их склеивания. Это подтверждается результатами экспериментов и отраженных в последующих исследованиях, приведенных ниже.

3. В роли адгезива в конструкции формируемого материала «Фанотрен А» выступает фольга, прокатанная из сплава Вуда, которая расходуетя:

- на заполнение неровностей на поверхности шпона;
- на создание сплошного армирующего слоя;
- на проникновение в граничные слои шпона.

4. Аналитически рассчитано, что для формирования трехслойной конструкции древесного композиционного материала «Фанотрен А» толщина армирующего слоя должна составлять не менее $0,3 \pm 0,1$ мм. При этом рентгенозащитные свойства материала напрямую определяются толщиной сплошного армирующего слоя.

5. Процесс горячего прессования древесных композиционных материалов на основе древесных частиц представляет контактный нагрев влажного пористого тела. Явление переноса энергии и вещества при нагреве влажных

пористых тел подчиняются общим законам термодинамики необратимых процессов.

6. Процессы тепломассопереноса (при постоянных коэффициентах переноса) описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных, разработанная А.В. Лыковым. Эта система имеет аналитическое решение, но ее использование в условиях высокоинтенсивного процесса прессования древесных композиционных материалов на основе древесных частиц затруднено, т.к.:

- зависит от температуры и влажности материала;
- отсутствуют численные значения вышеперечисленных теплофизических параметров, а также приемлемые методики их определения.

7. Для анализа процессов тепломассопереноса в процессе прессования древесных композиционных материалов на основе древесных частиц вполне пригодна теория прессования древесностружечных плит А.Н. Обливина. Согласно ей анализ процесса проводится системой дифференциальных уравнений в частных производных при контактном нагреве влажного пористого тела с введением внутренних коэффициентов тепло- и массообмена. Система включает:

- уравнение фильтрации;
- уравнение переноса паровоздушной смеси;
- уравнение влагосодержания;
- уравнение теплопроводности в скелете пористого тела;
- уравнение переноса энергии паровоздушной смесью.

8. На основе решения системы дифференциальных уравнений в частных производных при контактном нагреве влажного пористого тела сделаны заключения:

- относительно малые величины давления парогазовой смеси и его градиента обуславливают незначительный перенос тепла в плоскости плиты за счёт конденсации и конвекции, что уменьшает скорость прогрева прессуемого пакета;

- возможно некоторое уменьшение цикла прессования древесного композиционного материала за счёт уменьшения продолжительности снижения давления, что позволит повысить производительность прессового оборудования;

- возможно некоторое увеличение продолжительности выдержки прессуемого пакета под давлением, что приведёт к увеличению цикла прессования.

9. Для описание поведения древесных композиционных материала в момент нахождения их под нагрузкой возможно использовать уравнение Софи – Жермен. Решение этого уравнения для прямоугольной пластины при произвольных граничных условиях в замкнутой форме получить не удастся. Точное решение в аналитической форме этого уравнения возможно лишь в некоторых частных случаях геометрического вида пластины, нагрузки и условий ее опирания.

10. Наиболее мощным и современным средством приближенного решения разнообразных задач математической физики, ориентированным на эффективное использование ЭВМ является метод конечных элементов (МКЭ), который основывается на законе сохранения энергии, записанного в форме принципа виртуальных перемещений.

11. На основе компьютерного моделирования соотношения «напряжение – деформация» предложенных рентгенозащитных материалов с использованием МКЭ сделаны заключения:

- упругая мгновенная деформация композиционных слоистых материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» происходила из-за нагрузки внешнего нагружения взаимодействия слоев древесины (шпона) и тонкого слоя наполнителя. Пластичная деформация, развивающаяся во времени связана с вязким слоем наполнителя и перемещением слоя шпона относительно клеевого слоя слоистых материалов;

- для материала «Плитотрен» - максимальное растягивающее напряжение наблюдается с нижней стороны образца, а в верхней его части – идет превышение предельно допустимых значений;

- относительные и простейшие деформации, выявленные а процессе испытания образцов объединялись, создавая зону локальной остаточной деформации, в которой в дальнейшем и наблюдалась разрушение.

- с уменьшением толщины армирующих слоев (фольги из сплава Вуда и РЗС) материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» увеличивается прогиб материалов, аналогичная зависимость прослеживается и с напряжением. Увеличение толщины материала «Плитотрен» способствует уменьшению величины прогибов и напряжений.

12. Проведенные теоретические исследования данной главы проверим путем экспериментальных исследований.

3. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В главе дана характеристика применяемого оборудования и используемых материалов при проведении экспериментов, а также представлена методика обработки полученных результатов. Для отдельных экспериментов в силу их индивидуальных особенностей методики их проведения представлены в соответствующих главах.

3.1 Исходные материалы и их характеристика

3.1.1 Характеристика применяемых древесных материалов

В экспериментах при формировании древесных композиционных материалов «Фанотрон А» и «Фанотрен Б» использовался шпон березовый луценый, а для древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1» - древесные частицы и опилки. Рассмотрим подробнее эти материалы.

Шпон березовый луценый – по качеству удовлетворяет требованиям [149] толщиной 1,5 мм и влажностью $8\pm 2\%$, имеющий следующие физико-механические показатели: предел прочности при растяжении вдоль волокон древесины – 110 МПа, поперек волокон древесины – 2,2 МПа. Для проведения эксперимента шпон раскраивался на образцы размером 200×200 мм.

Древесные частицы и опилки – влажностью $6\div 8\%$, имеющие следующие размеры:

- для материала «Плитотрен» - древесная стружка толщиной $0,2\div 0,4$ мм, шириной $3,5\div 5$ мм и длиной $4,5\div 7$ мм, порода древесины в основном – сосна, имеющие следующий ситовой состав: 10 - 5 мм – 18%, 5 - 2 мм – 60%, 2 - 0,25 мм – 21%, древесная пыль – 1%.

- для материала «DS-1» - опилки, размером менее 2 мм, согласно ситовому анализу, имеющие ситовой состав: 2 - 1 – 20%, 1 - 0, 25 – 25%, древесная пыль - 55%. Порода древесины не имеет значения, так как древесина, переработанная в мелкую фракцию, теряет свои свойства.

3.1.2 Характеристика применяемого наполнителя

В качестве наполнителя в конструкциях материалов «Фанотрон Б», «Плитотрен» и «DS-1» использовался сернокислый барий ($BaSO_4$) [227]. Материал не ядовит, взрыво- пожаробезопасен, по степени воздействия на организм относится к веществам четвертого класса опасности. Барит необходимо хранить в закрытых складских помещениях, не допуская попадания влаги, гарантийный срок хранения – не более полутора лет с даты изготовления. Физико- химические характеристики материала приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Физико - химические характеристики сернокислого бария

№п/п	Показатель	Значение
1	2	3
1	внешний вид	порошок белого цвета
2	фракционный состав: - массовая доля частиц крупной фракции диаметром 5 мкм и более, %, не более - массовая доля частиц мелкой фракции диаметром 1 мкм и менее, %	10 10-40
3	массовая доля остатка при просеве на сите с сеткой №016К (ГОСТ 6613-86), %, не более	1
4*	массовая доля бария сернокислого, %, не менее	98,5
5*	массовая доля кальция сернокислого, %, не более	0,4
6*	массовая доля хлоридов в пересчете на хлорид-ион, %, не более	0,04

1	2	3
7*	массовая доля железа, %, не более	0,01
8	массовая доля влаги, %, не более	0,1
9	массовая доля потерь при прокаливании, %, не более	1,0
10	плотность насыпная, г/см ³ , не более	0,7
* - нормы по показателям 2-6 даны в пересчете на прокаленный продукт		

3.1.3 Характеристика применяемых адгзивов

В конструкции материала «Фанотрен А» в качестве адгезива используется фольга, прокатанная из легкоплавкого сплава Вуда (таблица 3.2) [228]. Технологический регламент получения фольги из сплава Вуда подробно описан в [229]. Химический состав сплава Вуда и его физико-механические свойства приведены в таблице 3.2 [230, 231].

Таблица 3.2 - Химический состав сплава Вуда и его физико-механические свойства

№ п/п	Наименование показателя	Состав			
		висмут Bi	свинец Pb	олово Su	кадмий Cd
1	плотность, кг/м ³	9800	11340	730	8650
2	температура плавления, °С	271,3	327,4	231,9	320,9
3	процентное содержание	50	25	12,5	12,5
4	температура плавления сплава, °С	68			
5	предел прочности сплава, МН/м ²	0,5			
6	относительное удлинение, %	25			
7	цвет	серый (в расплавленном состоянии обладает зеркальным эффектом)			

В конструкции материала «Фанотрен Б» в качестве связующего применялся клей на основе поливинилацетатной дисперсии «Иоваколь» D3/D4.10270 [192 (232)]. Клей применяется для склеивания твердой и мягкой древесины, древесностружечных и других древесных композиционных материалов, для укладки паркета и ламината и т.д. в местах с повышенной влажностью. Нанесение клея осуществляется обычными способами. Минимальный срок хранения в сухом и прохладном месте при температуре от 15 до 25 °С, в таре 6 месяцев (предохранять от мороза). Клей не горюч и безопасен, техническая характеристика клея приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Техническая характеристика клея «Иоваколь»

№п/п	Наименование показателя	Значение
1	вязкость по Брукфильду, мПа·с	13,5±4,5
2	сухой остаток, %	51±2
3	плотность, г/см ³	1,08±0,02
4	значение pH	3±0,5
5	минимальная температура образования пленки, °С	5
6	цвет клеевой пленки	бесцветно-прозрачный
7	прочность при склеивании (по DIN EN 204): - без отвердителя - с добавлением 5% отвердителя 19540	D3 D4
8	минимальная температура (для деталей, клея и помещения), °С	15
9	технологическая выдержка, ч	5
10	расход клея, г/м ²	150-200
11	время открытой выдержки, мин	5-8
12	давление прессования, Н/мм ² , не более	0,2
13	минимальное время прессования, мин: - при 50 °С - при 90 °С	4 1,5

В конструкции материала «Плитотрен» в качестве связующего используется карбамидоформальдегидная смола КФ-МТ-15 (М) [233], техническая характеристика которой приведена в таблице 3.4. Отвердителем являлся хлористый аммоний 1-ого сорта [234], техническая характеристика приведена в таблице 3.5.

Таблица 3.4 - Техническая характеристика карбамидоформальдегидной смолы КФ-МТ-15 (М)

№п/п	Наименование показателей	Значение
1	внешний вид	белая однородная суспензия без посторонних включений
2	массовая доля сухого остатка, %	66±2
3	массовая доля свободного формальдегида, %, не более	0,15
4	условная вязкость по ВЗ-4 (сопло диаметром 4 мм, при 20 ± 0,5 °С), с	65±15
5	значение рН	7,5 – 8,7
6	время желатинизации при 100 °С, с	60±10
7	соотношение смолы и воды, при которой наблюдается коагуляция	1:2–1:10
8	предел прочности при скалывании по клеевому слою образцов после вымачивания в воде в течение 24 ч, МПа, не менее	1,6

Таблица 3.5 – Техническая характеристика хлористого аммония

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	внешний вид	порошок или гранулы белого цвета (допускается желтый или розоватый оттенок)
2	массовая доля хлористого аммония, %, не менее	99,6
3	массовая доля влаги, %, не более	0,2
4	массовая доля хлористого натрия, %, не более	0,05
5	массовая доля углекислых солей в пересчете на (NH)CO, %, не более	0,01
6	массовая доля железа, %, не более	0,003
7	массовая доля тяжелых металлов сероводородной группы (Pb), %, не более	0,0005
8	массовая доля мышьяка, %, не более	0,0005
9	массовая доля свободной кислоты	должен выдерживать испытание по п.3.12
10	массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более	0,02
11	массовая доля сульфатов в пересчете на NaSO, %, не более	0,05

В конструкции материала «DS-1» в качестве связующего используется порошковый клей «Kaurit Leim 122 Pulver» (Германия) [235]. Клей представляет собой сухую модифицированную карбамидоформальдегидную смолу порошкообразной формы, состоящую из природных материалов. Клей необходимо хранить в плотно закрытых бумажных пакетах при температуре не ниже 20 °С, предохранять от попадания влаги. Он обладает повышенной морозостойкостью. Применяется для склеивания и облицовывания ДСтП, МДФ и др., изготовления мебели, дверных блоков. Техническая характеристика клея приведена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Техническая характеристика клея «Kaurit Leim 122

Pulver»

№п/п	Наименование показателя	Значение
1	внешний вид	порошок белого цвета
2	время открытой выдержки, мин, не более	15
3	расход клея, г/м ²	100 - 130
4	влажность древесины, %	6 - 12
5	класс эмиссии	E 0,5
6	срок годности при температуре 20 °С, мес	12

3.1.4 Характеристика применяемого рентгенозащитного слоя

Рентгенозащитный слой (РЗС), входящий в конструкцию древесного композиционного материала «Фанотрен Б» имеет сложную конструкцию. Он состоит из основы - волокнистого материала (например, термоскрепленного синтепона [236]) пропитанного рентгенозащитным составом, состоящим из минерального наполнителя (сульфат бария), связующего (клея «Иоваколь» D3/D4.10270) и дистиллированной воды [237].

Термоскрепленный синтепон применяется в качестве наполнителя, утеплителя, прокладочного материала, для пошива швейных изделий, покрывал, постельных принадлежностей, стеганых изделий. К его преимуществам относят: экологичность и безопасность в использовании, нетоксичность, стабильность формы, мягкость, эластичность, возможность длительной эксплуатации, не поддерживает горение, устойчивость к запахам, малую теплопроводность. Поверхностная плотность материала составляет 75 - 400 г/м². Он на 100 % состоит из полиэтилена, ширина полотна составляет от 1500 до 1700 мм.

3.2 Характеристика применяемого экспериментального оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры

При проведении экспериментов использовалось следующее оборудование и контрольно - измерительная аппаратура, приведенные в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Перечень оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры, применяемых в экспериментах

№ п/п	Наименование и марка	Назначение
1	2	3
1	пресс гидравлический Д2430Б	прессование образцов композиционных материалов, уплотнение РЗС
2	смеситель	смешивание компонентов РЗС и древесно-клеевой композиции
3	испытательная машина VEB	определение величины предела прочности при статическом изгибе и растяжении вдоль волокон
4	испытательная машина МР-0,5	определение величины предела прочности при скалывании по клеевому слою образцов
5	испытательная машина AMSLER	определение величины твердости образцов
6	рентгеновский аппарат Ренекс Э4-Н3	получение рентгенограмм
7	люксметр ТКА-Люкс	определение величины фотометрической контрастности изображения на рентгенограмме
8	микроскоп биологический МБУ-44	исследование степени проникновения сплава в толщину шпона
9	микроскоп МИС-11	определение шероховатости поверхности лущеного березового шпона

1	2	3
10	растровый электронный микроскоп JSM-6390	исследование внутренней структуры плитных композиционных материалов
11	весы лабораторные ВЛТ-510-П	определение массы компонентов пропиточного состава, древесно-клеевой композиции, массы образцов, расхода клея
12	дистанционные планки	измерение высоты между плитами пресса (толщина получаемых материалов)
13	пропиточная установка	пропитка волокнистого материала (синтепона) рентгенозащитной композицией
14	штангенциркуль ШЦ-1-150-0,1	измерение толщины фольги, РЗС, и получаемых композиционных материалов
15	термометр лабораторный ТЛ-4	измерение температуры плит пресса
16	секундомер механический СОСпр-2б-2-000	измерение времени прессования композиционных материалов
17	оборудование для йодометрического метода	определение содержания свободного формальдегида
18	копёр маятниковый МК30А	измерение ударной вязкости материалов
19	микротом	получение микросрезов
20	микрометр МК-25	изменение диаметра и высоты капли, полученной из сплава Вуда
21	чаша Петри, бинокулярная лупа	исследование структуры порового пространства шпона
22	эксикатор	определение степени водопоглощения и разбухания по толщине образцов

3.3 Методика проведения экспериментальных исследований

Для контроля физико-механических свойств древесины и древесных материалов существуют стандартные методики их определения [238 – 269]. Для определения физико-механических показателей разработанных древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами воспользуемся этими стандартными методиками, возможно в несколько измененном виде.

3.3.1 Определение предела прочности при скалывании

по клеевому слою

Предел прочности при скалывании по клеевому слою определялся у древесных композиционных материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б». Метод заключается в определении максимальной нагрузки, разрушающий образец при скалывании.

Форма и размер образцов для испытаний на скалывание по клеевому слою должны соответствовать требованиям ГОСТ [255, 256, 258, 273] (рисунок 3.1). Образцы вырезались вдоль волокон наружного слоя. Испытание образцов осуществлялось на испытательной машине МР-0,5 (с погрешностью нагрузки до 1%).

Ширина плоскости скалывания образца измерялась по середине длины каждой плоскости скалывания и принималось как среднее арифметическое. Длина плоскости скалывания принималось равной среднему арифметическому четырех измерений. Измерения выполнялись вдоль кромок плоскости скалывания.

Предел прочности при скалывании по клеевому слою вычисляли по формуле:

$$\tau_{ск} = \frac{P_{\max}}{b \cdot l}, \quad (3.1)$$

где $\tau_{ск}$ – предел прочности при скалывании по клеевому слою, МПа;

P_{max} – максимальная нагрузка, Н;

b и l – соответственно ширина и длина плоскости скалывания, мм.

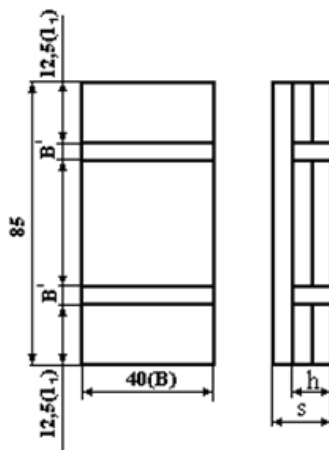


Рисунок 3.1 – Форма и размер образцов при испытании на прочность при скалывании

3.3.2 Определение предела прочности при статическом изгибе

Полученные в результате прессования образцы раскраивались для испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ [255 – 257, 261 – 263, 273]:

- должны иметь форму прямоугольного параллелепипеда толщиной, равной толщине древесного композиционного материала;
- ширина должна быть равна 50 мм, а длина – двадцатикратной толщине плюс 50 мм при длине от 150 до 1050 мм;
- не должны иметь дефектов, снижающих их прочность.

Толщина образца измерялась в центре поперечной оси. Расстояние между центрами опор устанавливались равным двадцатикратной толщине образца, но не менее 100 мм и не более 1000 мм. Образец укладывался на опоры испытательного устройства по отметкам так, чтобы продольная ось образца была перпендикулярна осям опор, а поперечная ось находилась в одной вертикальной плоскости с осью ножа, согласно рисунку 3.2.

В пределах группы образцов с одинаковой ориентацией одна половина испытывается, путем укладывая на опоры испытательного устройства лицевой пластью вверх, а другая половина – лицевой пластью вниз.

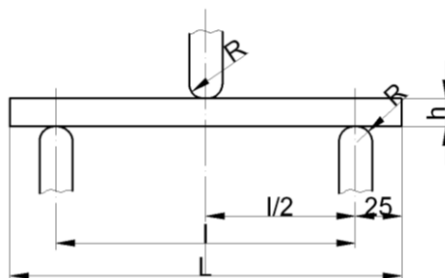


Рисунок 3.2 – Схема испытания образцов на статический изгиб

Испытание образцов проводились на испытательной машине VEB. При определении предела прочности при изгибе производилась нагрузка образца с постоянной скоростью до разрушения и регистрировалась максимальную нагрузку с точностью до 1%. Время от начала нагружения до разрушения образца составляло 60 ± 30 с.

Предел прочности при статическом изгибе вычисляли по формуле:

$$\sigma_u = \frac{3P_{\max} l}{2bh^2}, \quad (3.2)$$

где σ_u - предел прочности при статическом изгибе, МПа;

P_{\max} - максимальная нагрузка, Н;

l - расстояние между опорами, мм;

b и h - соответственно ширина и толщина образца, мм.

3.3.3 Определение предела прочности при растяжении вдоль волокон

Предел прочности при скалывании по клеевому слою определялся у древесных композиционных материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б». Метод определения предела прочности при растяжении вдоль волокон заключается в определении максимальной нагрузки, разрушающей образец при растяжении.

Форма и размеры образцов соответствовали требованиям ГОСТ [255, 256, 259, 273)] и приведены на рисунке 3.3. Переход головок образцов в рабочую часть был плавным и симметричным относительно продольной оси образца. Испытания образцов проводились на испытательной машине ВЕВ с клиновидными захватами (с погрешностью измерений $\pm 1\%$). Образцы устанавливались в захват машины так, чтобы его продольная ось совпадала с осями головок машины, а клиновидные захваты захватывали образец вплотную до закругленной части. Образец нагружался равномерно с постоянной скоростью.

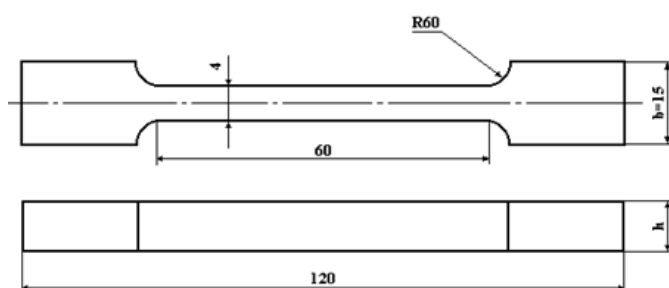


Рисунок 3.3 – Формы и размеры образцов при испытании на прочность при растяжении

Предел прочности при растяжении вычисляли по формуле:

$$\sigma_p = \frac{P_{\max}}{b_1 h}, \quad (3.3)$$

где σ_p - предел прочности при растяжении, МПа;

P_{\max} - максимальная нагрузка, Н;

b и h - соответственно ширина и толщина рабочей части образца, мм.

3.3.4 Определение плотности

Плотность древесных композиционных материалов определялись на образцах размерами $100 \times 100 \times h$ мм [255, 256, 273, 274]. Толщина измерялась в

четырёх точках: посередине длины и ширины на расстоянии 25 мм от центра образца.

Плотность вычислялась по формуле:

$$\rho = \frac{m}{lbh}, \quad (3.4)$$

где m – масса образца РЗС, кг;

l , b и h – соответственно длина, ширина и толщина образца, м.

3.3.5 Определение степени разбухания по толщине и водопоглощение

Степень разбухания древесных композиционных материалов по толщине и водопоглощение определяли на образцах размером $50 \times 50 \times h$ мм [248].

Толщину образца измеряли в соответствии с ГОСТ 9621-72 [256] и ГОСТ 10633 – 78 [261] в четырёх точках. За толщину образца принимают среднее арифметическое значение результатов четырёх измерений.

Измерив толщину и массу, образцы погружают в эксикатор с водой, имеющей температуру 20 ± 2 °С, так чтобы они не соприкасались и были полностью покрыты водой. Образцы выдерживают в течение 24 ч, затем их промокали фильтровальной бумагой и вторично измеряли их толщину.

Водопоглощение образца вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (3.5)$$

где m_0 – масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

m_1 – масса образца до высушивания, г.

Разбухание по толщине образца вычисляют по формуле:

$$S = \frac{s_1 - s_0}{s_0} \cdot 100, \quad (3.6)$$

где s_0 – толщина образца до вымачивания, мм;

s_1 – толщина образца после вымачивания, мм.

3.3.6 Определение токсичности

Количество формальдегида, выделяющегося из подготовленных образцов, определялось перфораторным методом по ГОСТ 27678-88 [270].

Взвешенные с точностью до второго знака образцы размером $25 \times 25 \times h$ мм в количестве 6 штук связывались по два и подвешивались к крышке в банки, куда предварительно завивается 50 см^3 свежеперегнанной дистиллированной воды. Герметично закрытые банки ставятся в разогретый до 60°C в термошкаф на 4 часа. Одновременно в термошкаф ставятся 3 рабочие банки и 1 контрольная – без образца, наполненная дистиллированной водой. Далее в течение 30 мин банки охлаждаются в холодильнике, затем образцы вынимаются из банок. Путем исследования водного раствора определяли количество выделяемого формальдегида йодометрическим методом. Для этого для тестирования из банки в 2 конические колбы пипеткой отбирали по 10 см^3 исследуемого раствора. В колбу прибавляют по 10 см^3 0,01-го раствора йода и по 4 см^3 раствора едкого натра. Колбы находятся в темноте в течении 15 мин. Затем осторожно добавляют по 2 см^3 разбавленного в пропорции 1/1 по объему раствора серной кислоты. Раствор принимает темно-коричневый цвет. Выделившийся избыточный йод оттитровывают из микробюретки 0,01-ым раствором тиосульфата натрия до появления бледно-желтой окраски, добавляют несколько капель раствора крахмала (раствор принимает синий цвет) и продолжают титрование до исчезновения окраски.

Содержание формальдегида вычисляют по формуле:

$$X = \frac{0,15 \cdot (V_K - V_P) \cdot 50}{10} \cdot \frac{100}{m} \cdot \frac{(100 + W)}{100} = \frac{0,75 \cdot (V_K - V_P) \cdot (100 + W)}{m}, \quad (3.7)$$

где 0,15 – количество формальдегида, мг, соответствующее 1 см^3 0,01-го раствора тиосульфата натрия;

V_K – средний объем 0,01-го раствора тиосульфата натрия, израсходованный на титрование пробы контрольного (холостого) опыта, см^3 ;

V_p – средний объем 0,01-го раствора тиосульфата, израсходованный на титрование пробы рабочего опыта, см³;

W – влажность образцов плит, %;

m – масса испытываемой пробы плиты, г.

За результат испытания принимают среднее арифметическое анализов проб из трех банок, расхождение не должно превышать 5мг/100г.

Если количество выделившегося формальдегида велико, то объема добавляемого йода может не хватить, что обнаруживается по отсутствию окрашивания пробы рабочего опыта после доливания раствора йода и выдержки в течение 15 мин. В этом случае раствор формальдегида в банке необходимо разбавить в n раз и учесть это при расчете, умножив искомое значение X на величину n .

3.3.7 Определение твердости по Бринеллю

Полученные в результате прессования образцы древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1» раскраивались согласно [249, 261, 262, 267]. Твердость по методу Бринелля ГОСТ 9012-59 [275] измеряют вдавливанием в испытываемый образец стального шарика диаметром D под действием заданной нагрузки P в течение определенного времени (рисунок 3.4). В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка).

Число твердости по Бринеллю, МПа, определяется соотношением:

$$HB = \frac{P}{F}, \quad (3.8)$$

где P - заданная нагрузка, Н;

F - площадь поверхности сферического отпечатка, м².

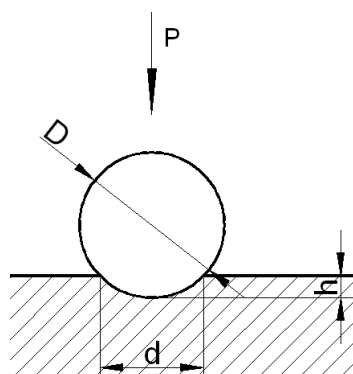


Рисунок 3.4 – Схема определения твердости по Бринеллю

Площадь шарового сегмента составляет:

$$F = \pi Dh, \quad (3.9)$$

где D – диаметр шарика, м;

h – глубина отпечатка, м.

Глубина отпечатка определяется:

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \quad (3.10)$$

где d – диаметр отпечатка, м.

Тогда число твердости по Бринеллю определяется:

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (3.11)$$

3.3.8 Определение ударной вязкости

Ударная вязкость характеризует способность материала сопротивляться ударным нагрузкам, т.е. чем больше эта величина, тем лучше материал работает при динамических нагрузках.

Величина ударной вязкости определяется [266]:

$$a_c = \frac{A_c}{F_c}, \quad (3.12)$$

где A_c – работа маятника затраченная на излом образца,

F_c – площадь поперечного сечения в месте излома.

Перед испытанием маятник поднимают вручную на определенную высоту H (рисунок 3.5).

Образец помещают на две опоры. При освобождении маятник свободно падает и, встречая на своем пути, образец, разрушает его. Пролетая дальше, он поднимается на высоту H_1 , после чего начинает качаться около равновесного положения. Остановка маятника производится тормозом.

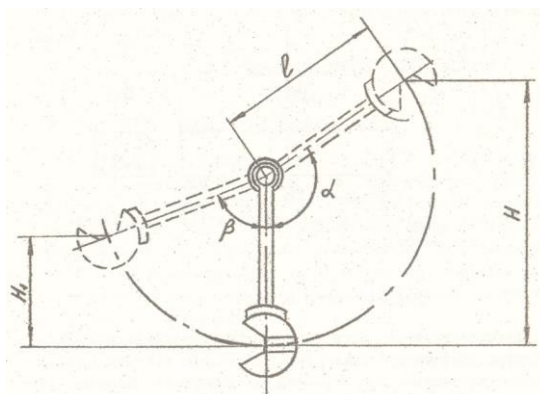


Рисунок 3.5 – Схема движения маятника при испытании на удар

Работа, затраченная на излом образца, равна разности энергии маятника в его положении до и после удара:

$$A_c = Q \cdot (H - H_1), \quad (3.13)$$

где $Q = mg$ (m – масса маятника, равна 25 кг, g – ускорение свободного падения, m/c^2),

H – высота:

$$H = R + R_{\sin}(\alpha - 90^\circ),$$

где $\alpha = 160^\circ$, $R=41,3$ см,

H_1 - высота:

$$H_1 = R - R \cdot (\cos \beta).$$

В месте излома образца площадь поперечного сечения находится по формуле:

$$F_c = b \cdot h, \quad (3.14)$$

где $b = 0,02$ м;

$h = T$ - толщина образца, м.

3.3.9 Определение рентгенозащитных свойств

Рентгенозащитные свойства разработанных древесных композиционных материалов оценивались величиной свинцового эквивалента [96 – 99]. С этой целью через полученные образцы материалов и пластину из свинца, имеющую толщину 1 мм рентгеновским аппаратом Ренекс Э4-Н3 пропускали рентгеновские лучи (режим: время экспозиции 0,06 с, сила тока 40 мА, напряжение 40, 60, 75 кВт). Способность разработанных материалов пропускать рентгеновские лучи оценивали по рентгенопрозрачности и фотометрической контрастности изображения на рентгенограмме с помощью люксметра «ТКА-ЛЮКС» [126, 137, 138].

Схема определения рентгенозащитных свойств разработанных материалов слоя представлена на рисунке 3.6.

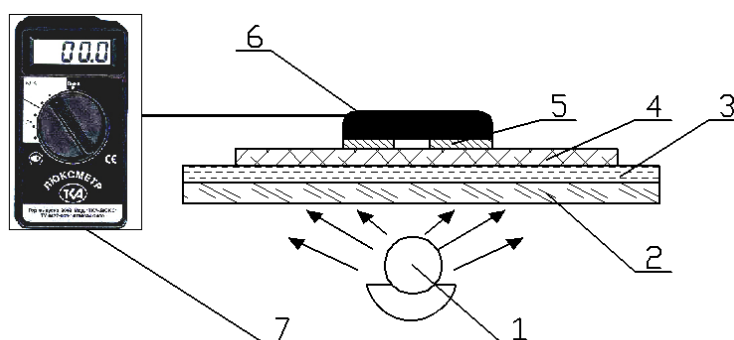


Рисунок 3.6 - Схема определения рентгенозащитных свойств предлагаемых материалов: 1 – источник света; 2 – стекло; 3 – калька; 4 – рентгенограмма; 5 – окно; 6 – датчик; 7 – люксметр

Принцип работы люксметра заключается в преобразовании фотоприемным устройством оптического излучения в числовые значения освещенности (Лк). Зафиксировав источник света 1 на стекло 2 укладывали кальку 3. Затем брали рентгенограмму 4 и устанавливали ее на кальку. Для снижения погрешности измерений используется окно 5, учитывающее размеры головки люксметра 6. Значение свинцового эквивалента определяли соотношением:

$$k = \frac{f_1}{f_2}, \quad (3.15)$$

где: k – свинцовый эквивалент, мм Pb/мм;

f_1 и f_2 – соответственно фотометрическая контрастность пленки образцов разработанных материалов и пленки образца свинца толщиной 1 мм.

3.4 Методика статистической обработки полученных экспериментальных данных

По результатам полученных экспериментальных данных вычислялись статистические характеристики полученных выборок: [276]:

1. величина среднего арифметического значения:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (3.16)$$

где y_i – значение i -ого элемента в полученной выборке;

n – объем выборки;

2. величина среднего квадратического отклонения:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}; \quad (3.18)$$

3. коэффициент вариации:

$$v = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100\%; \quad (3.19)$$

4. среднеквадратическая ошибка среднего значения:

$$S_{\bar{y}} = \frac{S}{\sqrt{n}}; \quad (3.20)$$

5. величину ошибки среднего квадратического отклонения:

$$S_s = \frac{S}{\sqrt{2n}}; \quad (3.21)$$

6. величину генерального среднего случайной величины:

$$\bar{y} - t \frac{S}{\sqrt{n}} \leq M_y \leq \bar{y} + t \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (3.22)$$

где M_y – математическое ожидание;

t – табличное значение t - критерия Стьюдента (находится по выбранному уровню значимости и числу степеней свободы);

7. необходимый объем выборки определяется:

$$n = \frac{t^2 S^2}{\Delta}, \quad (3.23)$$

где $\Delta \leq M_y - \bar{y}$;

8. отбрасывание промахов:

$$t_{pac} = \frac{|y_i - \bar{y}|}{S}. \quad (3.24)$$

Если выполняется неравенство $t_{pac} > t_{таб}$, то рассматриваемый результат считается грубым наблюдением и исключается из выборки.

- проверка нормальности распределения осуществляется с помощью χ^2 – критерия Пирсона. Диапазон изменения выходной величины в этой выборке разбивается на l интервалов (эти интервалы должны перекрывать ось на отрезке от $-\infty$ до $+\infty$ и в каждый интервал должно попасть не меньше пяти значений выходной величины). Теоретическую вероятность попадания случайной величины в i -ый интервал определяют:

$$p_i = \Phi(z_2) - \Phi(z_1), \quad (3.25)$$

$$\text{где } z_1 = \frac{(y_i^A - \bar{y})}{S}; \quad z_2 = \frac{(y_i^B - \bar{y})}{S};$$

y_i^A - граница нижняя i -го интервала;

y_i^B - граница верхняя i -го интервала;

$\Phi(z)$ – нормированная функция Лапласа:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-x^2/2} dx. \quad (3.26)$$

Значения ее для $z = z_1$ и $z = z_2$ определяют согласно таблице [276].

Далее определяется величина $\chi^2_{\text{расч}}$:

$$\chi^2_{\text{расч}} = \frac{\sum_{i=1}^{\ell} (m_i - p_i n)^2}{p_i n}. \quad (3.27)$$

По выбранном уровне значимости q и числу степеней свободы $k = l - 3$ согласно таблице [276] определяется $\chi^2_{\text{таб}}$. Гипотеза о нормальности распределения принимается при условии если $\chi^2_{\text{расч}} < \chi^2_{\text{таб}}$.

При планировании эксперимента по В₃ плану Бокса и симплексно-центроидному плану определялись [276 – 289]:

1. средние значения по строчкам управляемых параметров:

$$\bar{y} = \frac{1}{\gamma} y_{u\ell}, \quad (3.28)$$

где γ – число повторений опыта;

2. значения дисперсий по строчкам:

$$S_u^2 = \frac{1}{\gamma - 1} \sum_{\ell=1}^{\gamma} (y_{u\ell} - \bar{y}_u)^2. \quad (3.29)$$

3. однородность дисперсии опытов проверялась с использованием критерия Кохрена:

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (3.30)$$

где S_{max}^2 - максимальная дисперсия в опытах,

S_i^2 - дисперсия i - го опыта,

N - число опытов в плане ($N=14$).

При условии, что $G_{\text{расч}} \leq G_{\text{табл}}$ гипотеза об однородности дисперсии опытов принимается:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}. \quad (3.31)$$

При планировании экспериментов по В₃ плану Бокса определялись:

а) коэффициенты регрессионной модели:

$$b_0 = -\frac{1}{16} \cdot \sum_{u=1}^8 y_u + \frac{1}{4} \cdot \sum_{u=9}^{14} y_u \quad (3.32)$$

$$b_i = \frac{1}{10} \cdot \sum_{u=1}^{14} x_{iu} \cdot y_u; \quad i = 1, 2, 3; \quad (3.33)$$

$$b_{ii} = \frac{1}{16} \cdot \sum_{u=1}^8 y_u - \frac{1}{4} \cdot \sum_{u=9}^{14} y_u + \frac{1}{2} \cdot \sum_{u=9}^{14} x_{iu}^2 \cdot y_u; \quad (3.34)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{8} \cdot \sum_{u=1}^8 x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u; \quad (3.35)$$

б) функция отклика (регрессионная модель) имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.36)$$

в) оценка дисперсии коэффициентов регрессионной модели:

$$S^2\{b_0\} = \frac{13}{32} \cdot S^2\{y\}, \quad (3.37)$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{10} \cdot S^2\{y\}, \quad (3.38)$$

$$S^2\{b_{ii}\} = \frac{13}{32} \cdot S^2\{y\}, \quad (3.39)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{1}{8} \cdot S^2\{y\}. \quad (3.40)$$

г) статистическая значимость коэффициентов регрессионной модели:

$$|b_i| \geq t_{табл.} \cdot S^2\{b_i\}, \quad (3.41)$$

где $S^2\{b_i\}$ - дисперсия i -го коэффициента регрессионной модели;

$t_{табл.}$ - табличное значение t - критерия Стьюдента при уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f_1 = N(n - 1)$;

n – количество повторений опыта.

Коэффициенты, удовлетворяющие условию (3.40) считаются равными нулю, т.е. отбрасываются из уравнения регрессии.

д) проверка адекватности регрессионной модели:

$$S_{ад.}^2 = \frac{S_{ад.}}{f_{ад.}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{(N - k)}, \quad (3.42)$$

где \bar{y}_i - значение управляемой величины в i -ом опыте;

\hat{y}_i - среднее значение управляемой величины в i -ом опыте рассчитанное по регрессионной модели;

k - число коэффициентов в регрессионной модели.

$$F_{расч.} = \frac{S_{ад.}^2}{S^2\{y\}}, \quad (3.43)$$

Рассчитанное значение $F_{расч.}$ сравнивается с табличным значениям критерия Фишера $F_{табл.}$ для $f_1 = N - k$ и $f_2 = N \cdot (n - 1)$ и уровня значимости $q = 0,05$. Гипотеза об адекватности регрессионной модели принимается если $F_{расч.} \leq F_{табл.}$.

е) оценка эффективности регрессионной модели:

$$\bar{\bar{y}} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{y}_u ; \quad (3.44)$$

критерий эффективности регрессионной модели:

$$F_{эф} = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \bar{\bar{y}})^2}{(N - 1) \cdot S_{ад.}^2} . \quad (3.45)$$

Регрессионная модель статистически эффективна, если $F_{эф} \geq F_a(f_3; f_2)$, при $f_3 = N - 1$, $f_2 = N - k$ и $q = 0,05$.

Для исследования рецептуры рентгенозащитной пропитывающей композиции использовался симплексно-центроидный план для изучения трехкомпонентной системы [276, 277]:

а) коэффициенты регрессионной модели рассчитывались по формулам:

$$b_1 = y_1; \quad b_2 = y_2; \quad b_3 = y_3; \quad (3.46)$$

$$b_{12} = 4y_4 - 2y_1 - 2y_2; \quad (3.47)$$

$$b_{23} = 4y_5 - 2y_2 - 2y_3; \quad (3.48)$$

$$b_{13} = 4y_6 - 2y_1 - 2y_3; \quad (3.49)$$

$$b_{123} = 27y_7 - 12(y_4 + y_5 + y_6) + 3(y_1 + y_2 + y_3). \quad (3.50)$$

б) функция отклика (регрессионная модель) имеет вид:

$$\hat{y} = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (3.51)$$

в) проверка адекватности регрессионной модели проводится по критерию Стьюдента:

$$t_u^{расч.} = \frac{|y_u^{эксп.} - y_u^{расч.}| \cdot \sqrt{n_u}}{\sigma(y) \cdot \sqrt{1 + \xi_u}}, \quad (3.52)$$

где: $t_u^{расч.}$ - расчетный критерий Стьюдента;

n_u - количество повторных опытов в проверочной точке;

u - номер проверочной точки;

$y_u^{эксп.}$ - экспериментальное значение свойства в u -ой проверочной точке;

$y_u^{расч.}$ - значение свойства, рассчитанное по математической модели в u -ой проверочной точке;

ξ_u - коэффициент, зависящий от нормализованных значений координат проверочной точки, определяется согласно [277];

$\sigma(y)$ - среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma(y) = \sqrt{S_{\text{восн.}}^2} . \quad (3.53)$$

Рассчитанное значение $t_u^{\text{расч.}}$ выполняется для каждой проверочной точки и сравнивается с табличным значениям $t_{\text{табл.}}$ - критерия Стьюдента для уровня значимости $f = (n - 1)$ и $q = 0,05$. Гипотеза об адекватности регрессионной модели принимается если $t_u^{\text{расч.}} \leq t_{\text{табл.}}$ для всех проверочных точек.

г) дисперсия воспроизводимости $S_{\text{восн.}}^2$ определяется в каждом опыте, состоящим из n повторяющихся измерений и рассчитывается согласно:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n - 1} , \quad (3.54)$$

где \bar{y}_i - среднее арифметическое n измерений;

y_{ij} - измеренное значение.

$$S_{\text{восн.}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} , \quad (3.55)$$

где N - число опытов в матрице планирования.

Для перехода от натуральных обозначений управляющих факторов к нормализованным использовалось соотношение [276]:

$$x_i = \frac{X_i - X_i^{(0)}}{\Delta_i} , \quad (3.56)$$

где x_i - нормализованное обозначение i - го управляющего фактора;

X_i - натуральное обозначение i - го управляющего фактора;

$X_i^{(0)}$ - натуральное обозначение i - го управляющего фактора на основном уровне;

Δ_i - шаг варьирования i - го управляющего фактора.

3.5 Определение рациональных значений исследуемых параметров

Определение рациональных значений параметров режима по комплексу управляемых параметров осуществлялся методом условного центра масс [290 – 296].

Экстремальные значения всех критериев эффективности обозначаются:

$$Y^* = [\tau = 1(1)n], \quad (3.57)$$

и их координат

$$\{X^*_{1(i)}, X^*_{2(i)}, X^*_{3(i)}, \dots, X^*_{n(i)}\}, \quad (3.58)$$

Полагая, что каждая точка обладает условной массой, значение которой определяют по формуле:

$$m_i = \sum_{j=1}^N Y_j (X^*_{1(j)}, X^*_{2(j)}, X^*_{3(j)}, \dots, X^*_{n(j)}), \quad (3.59)$$

или

$$m_i = 1 + \frac{\sum_{\varphi=1}^{n-1} Y_i (X^*_{1(\varphi)}, X^*_{2(\varphi)}, X^*_{3(\varphi)}, \dots, X^*_{n(\varphi)})}{Y^*_i}, \quad (3.60)$$

где $[\varphi = 1(1)(n - 1)]$.

Координаты условного центра масс находят по следующей формуле:

$$X^{**}_j = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot X^*_{j(i)}}{\sum_{i=1}^n m_i}. \quad (3.61)$$

Таким образом, находились значения параметров управления, обеспечивающих оптимальные значения показателей эффективности.

4. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ШПОНА

4.1 Постановка задачи

Способ армирования фанеры разными материалами позволяет улучшать ее качественные и эксплуатационные показатели, а также придать фанерной продукции новые заранее задаваемые свойства [18 - 25]. Поэтому изготавливать композиционные материалы, обладающие рентгенозащитными свойствами, возможно на основе древесного шпона.

Разработанные древесные композиционные материалы «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» по своей конструкции представляют армированную фанеру, в которой слои шпона чередуются с рентгенозащитными слоями. В конструкции материала «Фанотрен А» в роли одновременно армирующего рентгенозащитного слоя и связующего применяется фольга из сплава Вуда. В конструкции материала «Фанотрен Б» в качестве рентгенозащитного слоя применен нетканый материал пропитанный рентгенозащитной композицией, состоящей из минерального наполнителя (сульфата бария), клея на основе ПВА и воды.

Разработанные материалы изготавливаются на основе типовых технологических процессов производства фанеры [10 - 16]. Рассмотрим подробно особенности их формирования.

4.2 Исследование процесса формирования материала «Фанотрен А»

4.2.1 Исследование влияния качества подготовки поверхности шпона на смачивающую способность применяемого адгезива

4.2.1.1 Планирование эксперимента

Смачивание поверхности субстрата жидким адгезивом – является наиболее важным условием для создания прочного клеевого соединения

материалов, входящих в состав композитов. При создании композитов на основе древесины оно характеризует возможность поглощения древесиной адгезива, взаимодействие между микрочастицами контактирующих веществ, а также способностью адгезива равномерно распределяться по поверхности древесной подложки [162].

Влияние качества подготовки древесного субстрата на смачивающую способность сплава Вуда, находящегося в расплавленном состоянии, оценивалось величиной «краевого угла смачивания» [297], согласно формуле:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{4dh}{d^2 - 4h^2}, \quad (4.1)$$

где $\operatorname{tg} \theta$ - тангенс «краевого угла смачивания», град;

d и h – соответственно диаметр и высота капли, мм.

Для получения стабильной массы и размеров капли была отработана процедура ее нанесения на древесную подложку. Сплав Вуда, разогревали до температуры 68 ± 1 °С (температура плавления) нагретой пипеткой (стеклянной) наносили на шпон. Массу и размеры затвердевшей на подложке капли (примерно через 30 с. после нанесения) определяли взвешиванием с точностью измерений $\pm 0,01$ г. и значение средней массы ее составляло $0,21 \pm 0,02$ г. Значения постоянных факторов и диапазоны варьирования управляющего фактора приведены в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 – Постоянные факторы в эксперименте

№ п/п	Наименование	Значение
1	влажность шпона, %	6 ± 2
2	температура окружающей среды, °С	20 ± 2
3	относительная влажность воздуха, %	65 ± 5
4	адгезив	сплав Вуда
5	масса капли, г.	$0,21 \pm 0,02$

Таблица 4.2 – Диапазоны варьирования управляющего фактора эксперимента

Управляющий фактор	Диапазон варьирования	Управляемый параметр	Количество наблюдений, n , шт	
			в одном опыте	общее
шероховатость поверхности подложки, R_{max} , мкм	60÷80	тангенс «краевого угла смачивания», $tg\theta, ^\circ$	10	20
	90÷110			

4.2.1.2 Результаты эксперимента и его анализ

По результатам полученных экспериментальных данных вычислялись статистические характеристики полученных выборок, приведенные в главе 3 [276].

Результаты статистической обработки эксперимента приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Статистическая обработка экспериментальных данных

Шероховатость поверхности древесной подложки, R_{max} , мкм	n , шт.	$tg\theta, ^\circ$	$S, ^\circ$	$S_{tg\bar{\theta}}, ^\circ$	$\nu, \%$	$\xi, \%$	$M_{tg\bar{\theta}} \pm, ^\circ$	$t_{9,0,05}$
60÷80	10	92,58	4,71	1,49	5,09	1,61	3,37	2,26
90÷110	10	90,6	4,23	1,35	4,71	1,49	3,05	

На основании полученных результатов исследований можно сделать следующие выводы:

- полученные величины «краевого угла смачивания» превышают 90° , поэтому применяемый в качестве адгезива сплав Вуда в расплавленном состоянии не способен смачивать поверхность древесной подложки. Это происходит в результате того, что вступающие во взаимодействие древесный шпон и расплавленный металл имеют разную химическую природу. Контактная поверхность древесного шпона является гидрофобной по отношению к металлической фольге, поэтому контактное взаимодействие между этими материалами достигается лишь механическим внедрением адгезива, находящегося в расплавленном состоянии вглубь пористой структуры древесины лиственных пород. Адгезионная прочность – это результат действия сил механической адгезии, которая в данном случае характеризуется количеством «якорных зацеплений», степенью разветвленности этих зацеплений и глубиной проникновения расплавленного сплава в граничные слои древесного субстрата;

- из полученных данных видно, что увеличение шероховатости поверхности древесной подложки (до определенного предела) оказывает положительное влияние на процесс взаимодействия поверхности древесной подложки с расплавленным металлом, так как уменьшается величина «краевого угла смачивания».

4.2.2 Исследование влияния режимов формирования на физико-механические свойства

4.2.2.1 Планирование эксперимента

Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 4.1. Для его проведения выбран трехфакторный план Бокса B_3 , включающий 14 опытов. Данный план обладает приемлемыми статистическими характеристиками при небольшом числе опытов и простоте реализации [276, 277, 279 – 285)].

Значения постоянных, наименование управляемых и диапазоны варьирования управляющих факторов при проведении экспериментов приведены соответственно в таблицах 4.4 - 4.5. Диапазоны изменения управляющих факторов выбраны с учетом пробных экспериментов, а также теоретического анализа и практического опыта производства фанеры [10 - 16].

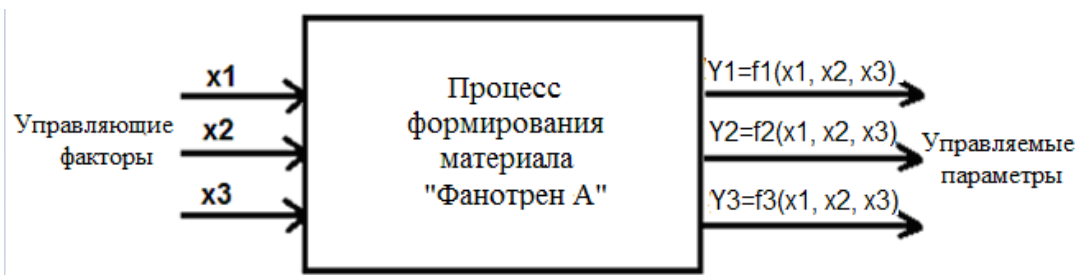


Рисунок 4.1 – Схема проведения эксперимента по определению физико-механических свойств материала «Фанотрон А»

Таблица 4.4 – Значения постоянных факторов в эксперименте

№ п/п	Наименование фактора	Значение
1	температура плит пресса, °С	100 ± 5
2	удельное давление прессования, МПа	1,5±0,1
3	продолжительность охлаждения пакета под давлением, мин	15±2
4	толщина шпона, мм	1,5±0,1
5	влажность шпона, %	6± 2
6	толщина фольги, мм	0,3±0,02
7	количество листов шпона в конструкции, шт	3
8	размеры материала, мм: - длина - ширина	200 ± 1 200 ± 1
9	продолжительность технологической выдержки, ч	24
10	тип прессования	с дистанционными планками

Таблица 4.5 – Диапазоны варьирования управляющих факторов
в эксперименте

№ п/п	Наименование фактора	обозначение	Значения на уровнях варьирования					
			нижний		основной		верхний	
			натуральное	нормализованное	натуральное	нормализованное	натуральное	нормализованное
1	шероховатость поверхности шпона, R_{max} , мкм	x_1	60	-1	90	0	120	+1
2	толщина матери- ала, h , мм	x_2	3,5	-1	4,0	0	4,5	+1
3	продолжитель- ность прессова- ния, τ , мин	x_3	4	-1	5	0	6	+1

Таблица 4.6 – Наименование управляемых параметров в эксперименте

№ п/п	Наименование параметра	Обозначе- ние	Нормализованное обозначение
1	предел прочности при скалывании по кле- евому слою, МПа	$\sigma_{ск.}$	\hat{y}_1
2	предел прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев, МПа	$\sigma_{изг.}$	\hat{y}_2
3	предел прочности при растяжении вдоль волокон, МПа	$\sigma_p.$	\hat{y}_3

4.2.2.2 Результаты эксперимента и его обработка

Результаты проведения экспериментальных исследований и их статистическая обработка согласно [276, 277, 279 – 285] осуществлялись средствами *Microsoft Excel 2010* и представлены в приложениях 7 – 9.

В результате были получены зависимости управляемых параметров от управляющих факторов в виде полиномов (уравнений регрессии) второго порядка. Каждый из полученных уравнений регрессии представляет собой математическую модель процесса формирования материала «Фанотрен А» по конкретному управляемому параметру. Полученные математические модели использовались для оптимизации процесса формирования полученного материала.

В таблице 4.7 приведены средние значения результатов реализации эксперимента по плану B_3 для параметров для управляемых параметров \hat{y}_1 , \hat{y}_2 , и \hat{y}_3 .

Таблица 4.7 – Результаты реализации экспериментов по определению физико-механических свойств материала «Фанотрен А» по плану B_3

№ п/п	Нормализованные обозначения управляющих факторов			Средние значения управляемых параметров		
	x_1	x_2	x_3	\hat{y}_1	\hat{y}_2	\hat{y}_3
1	1	1	1	0,28	62,85	53,63
2	-1	1	1	0,48	72,6	57,6
3	1	-1	1	0,43	70,5	56,98
4	-1	-1	1	0,66	80,1	61,07
5	1	1	-1	0,21	49,9	44,63
6	-1	1	-1	0,20	56,53	48,53
7	1	-1	-1	0,26	55,3	47,9
8	-1	-1	-1	0,29	65,47	54,37
9	1	0	0	0,29	65,45	53,87
10	-1	0	0	0,54	74,05	57,98
11	0	1	0	0,34	63,72	51,87
12	0	-1	0	0,51	72,85	56,87
13	0	0	1	0,59	75,87	59,48
14	0	0	-1	0,22	61,5	50,83

4.2.2.3 Построение математических моделей

Построение математических моделей в виде функций отклика для выходных параметров \hat{y}_1 , \hat{y}_2 и \hat{y}_3 проводилось по методике, описанной в главе 3.

Статистический анализ полученных результатов подтвердил однородность дисперсии и значимость коэффициентов уравнений регрессии, которые имеют следующий вид:

- в нормализованных обозначениях факторов:

$$\hat{y}_1 = 0,446 - 0,071x_1 - 0,064x_2 + 0,024x_3 - 0,031x_1^2 - 0,022x_2^2 - 0,043x_3^2 + 0,009x_1x_2 - 0,052x_1x_3 - 0,024x_2x_3; \quad (4.2)$$

$$\hat{y}_2 = 71,3 - 4,475x_1 - 3,861x_2 + 7,322x_3 - 1,531x_1^2 - 2,997x_2^2 - 2,599x_3^2 + 0,423x_1x_2 - 0,319x_1x_3; \quad (4.3)$$

$$\hat{y}_3 = 56,2 - 2,252x_1 - 2,094x_2 + 4,25x_3 - 1,814x_2^2 - 1,022x_3^2 + 0,335x_1x_2. \quad (4.4)$$

- в натуральных обозначениях факторов:

$$\sigma_{ск.} = -10,36 + 0,066R_{max} + 2,37h + 2,37\tau - 0,00003R_{max}^2 - 0,088h^2 - 0,043\tau + 0,0006R_{max}h - 0,002R_{max}\tau - 0,44h\tau; \quad (4.5)$$

$$\sigma_{изг.} = -186,19 + 0,23R_{max} + 37,69h + 34,27\tau - 0,002R_{max}^2 - 11,99h^2 - 25,99\tau + 0,028R_{max}h - 0,011R_{max}\tau; \quad (4.6)$$

$$\sigma_p. = -75,15 - 0,16R_{max} - 6,2h + 14,47\tau - 7,26h^2 - 1,022\tau^2 + 0,022R_{max}h. \quad (4.7)$$

По результатам полученных экспериментальных данных были построены графические интерпретации зависимостей изменения управляемых параметров от управляющих факторов (рисунки 4.2 – 4.4).

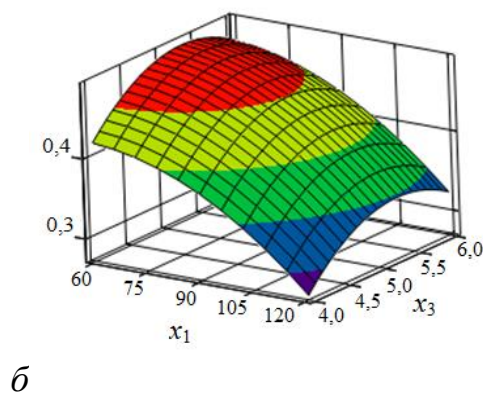
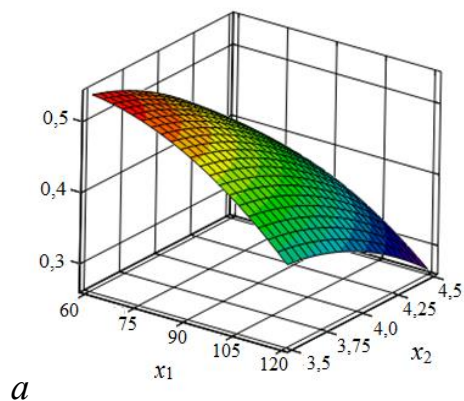


Рисунок 4.2 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при скалывании): x_1 – шероховатость поверхности шпона; x_2 – толщина материала; x_3 – продолжительность прессования

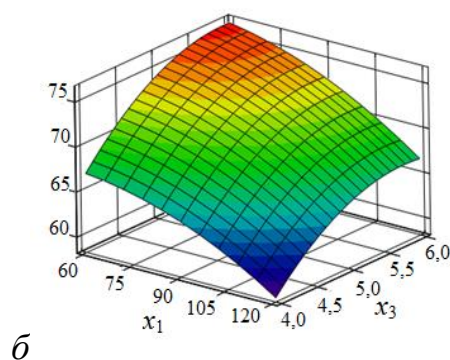
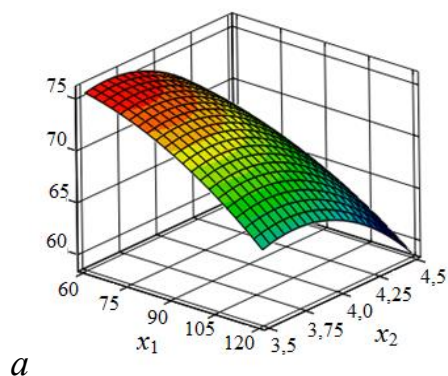


Рисунок 4.3 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при статическом изгибе): x_1 – шероховатость поверхности шпона; x_2 – толщина материала; x_3 – время прессования

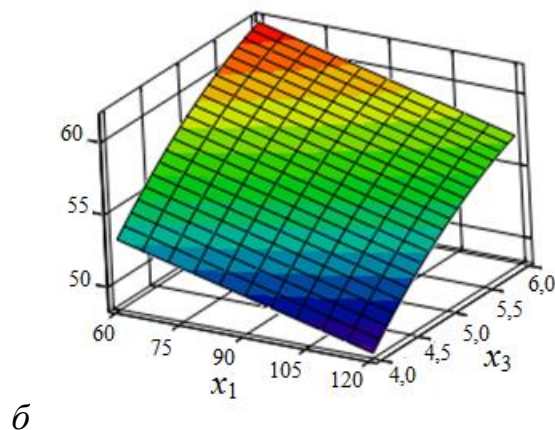
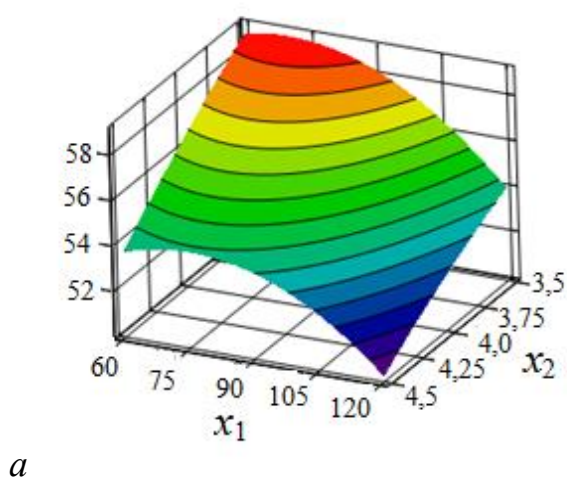


Рисунок 4.4 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при растяжении): x_1 – шероховатость поверхности шпона; x_2 – толщина материала; x_3 – время прессования

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Уменьшение шероховатости поверхности шпона до 60 мкм увеличивает физико-механические показатели разработанного материала, поскольку прессование материала происходит в пространстве, ограниченном дистанционными планками при заранее заданной толщине фольги. Поверхность шпона, имеющие большую шероховатость приводит к тому, что оставшегося после создания сплошного клеевого слоя и заполнения зазора между контактирующими поверхностями адгезива недостаточно для проникновения его в граничные слои шпона на полезную глубину (с образованием разветвленной структуры), что в конечном итоге снижает физико-механические показатели материала;

2. Уменьшение толщины материала до 3,5 мм повышает его физико-механические показатели, т.к.:

- сплав, находящийся в жидком состоянии способен глубже проникнуть в граничные слои шпона, что приводит к увеличению площади фактического контакта между склеиваемыми поверхностями;

- увеличивается объем шпона, пропитанный сплавом, что приводит к увеличению однородности структуры материала, т.е. клеевой слой становится «прозрачным». Сплав Вуда, применяемый в конструкции материала в качестве адгезива, эластичный материал, а следовательно и композиция, с использованием армирующих элементов на его основе, способна выдерживать более высокие нагрузки при статическом изгибе и растяжении, чем фанера марки ФК;

3. Увеличение времени прессования материала до 6 мин. повышает физико-механические свойства материала, т.к. за это время сплав, используемый в качестве адгезива, успевает достигнуть температуры его плавления (68 °С), перейти в жидкое состояние, проникнуть в граничные слои шпона на необходимую глубину. Далее в результате охлаждения пакета материала, нахо-

дющегося под действием внешней нагрузки плит прессы, предлагаемый адгезив (сплав) успевает закристаллизоваться и образовать достаточное количество «гвоздевых связей», обеспечивая тем самым прочность конструкции.

4.2.2.4 Решение задачи оптимизации

Согласно соображениям, приведенным в п. 4.1.2.2 оптимизационную модель сформируем в следующем виде:

а) целевая функция:

$$W = 0,446 - 0,071x_1 - 0,064x_2 + 0,024x_3 - 0,031x_1^2 - 0,022x_2^2 - 0,043x_3^2 + 0,009x_1x_2 - 0,052x_1x_3 - 0,024x_2x_3 \rightarrow \max \quad (4.8)$$

б) система ограничений:

$$71,3 - 4,475x_1 - 3,861x_2 + 7,322x_3 - 1,531x_1^2 - 2,997x_2^2 - 2,599x_3^2 + 0,423x_1x_2 - 0,319x_1x_3 \leq 70; \quad (4.9)$$

$$56,2 - 2,252x_1 - 2,094x_2 + 4,25x_3 - 1,814x_2^2 - 1,022x_3^2 + 0,335x_1x_2 \leq 56; \quad (4.10)$$

$$-1 \leq x_1 \leq 1; \quad (4.11)$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1; \quad (4.12)$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1. \quad (4.13)$$

Для решения вышеприведенной оптимизационной модели использовалась технология оптимизации *Microsoft Excel 2010* встроенной надстройки «Поиск решения» [298, 299]. Оптимизация осуществлялась с применением метода обобщенного приведенного градиента (ОПГ) [300]. Результаты решения задачи оптимизации приведены на рисунках 4.5 – 4.6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Коэффициенты уравнения регрессии												
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности при скальвании, МПа		
3	0,446	-0,071	-0,064	0,024	-0,031	-0,022	-0,043	0,009	-0,052	-0,024			
4	Переменные												
5		x1	x2	x3									
6		-0,917	-1,000	-0,588							0,5		
7	Система ограничений												
8		1	0	0	-0,917			1					
9		1	0	0	-0,917			-1					
10		0	1	0	-1,000			1					
11		0	1	0	-1,000			-1					
12		0	0	1	-0,588			1					
13		0	0	1	-0,588			-1					
14	71,3	-4,475	-3,861	7,322	-1,531	-2,997	-2,599	0,432	-0,319	0	70	70	
15	56,2	-2,252	-2,094	4,25	0	-1,814	-1,022	0,335	0	0	56	56	
16													
17													

Рисунок 4.5 - Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при скальвании материала «Фанотрен А»

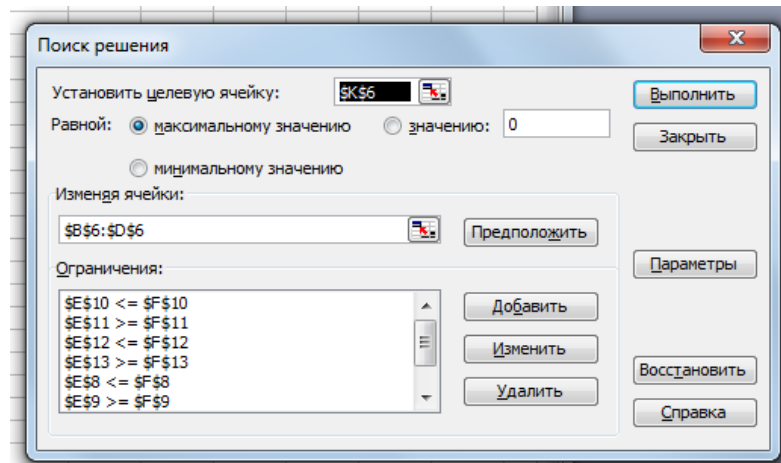


Рисунок 4.6 – Параметры поиска решения задачи оптимизации по нахождению оптимального значения предела прочности при скальвании

Оптимальные значения управляющих факторов составляют:

$$x^* = \begin{vmatrix} -0,917 \\ -1 \\ -0,588 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 84 \text{ мкм} \\ 4 \text{ мм} \\ 4,4 \text{ мин} \end{vmatrix}. \quad (4.14)$$

Ожидаемые значения управляемых параметров составят:

- предел прочности при скальвании: $y_1^* = 0,5$ МПа;
- предел прочности при статическом изгибе: $y_2^* = 70$ МПа;
- предел прочности при растяжении: $y_3^* = 56$ МПа.

4.2.2.5 Определение рациональных значений режимных параметров формирования материала

Также с помощью полученных математических моделей (4.2, 4.4, 4.6) можно найти экстремальные значения управляющих параметров в процессе формирования композиционного материала «Фанотрен А». Тогда задача оптимизации ставится следующим образом:

а) целевая функция для определения максимального значения предела прочности:

- при скалывании по клеевому слою (W_1):

$$W_1 = 0,446 - 0,071x_1 - 0,064x_2 + 0,024x_3 - 0,031x_1^2 - 0,022x_2^2 - 0,043x_3^2 + 0,009x_1x_2 - 0,052x_1x_3 - 0,024x_2x_3 \rightarrow \max; \quad (4.15)$$

- при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев (W_2):

$$W_2 = 71,3 - 4,475x_1 - 3,861x_2 + 7,322x_3 - 1,531x_1^2 - 2,997x_2^2 - 2,599x_3^2 + 0,423x_1x_2 - 0,319x_1x_3 \rightarrow \max; \quad (4.16)$$

- при растяжении вдоль волокон (W_3):

$$W_3 = 56,2 - 2,252x_1 - 2,094x_2 + 4,25x_3 - 1,814x_2^2 - 1,022x_3^2 + 0,335x_1x_2 \rightarrow \max. \quad (4.17)$$

б) для целевых функций 4.8 – 4.10 справедлива следующая система ограничений:

$$\begin{cases} -1 \leq x_1 \leq 1 \\ -1 \leq x_2 \leq 1. \\ -1 \leq x_3 \leq 1 \end{cases} \quad (4.18)$$

Для определения экстремальных значений управляющих факторов использовалась технология оптимизации *Microsoft Excel 2010* встроенной надстройки «Поиск решения». Оптимизация осуществлялась с применением метода обобщенного приведенного градиента (ОПГ). Полученные результаты решения приведены на рисунках 4.7 – 4.9 и в таблице 4.8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Коэффициенты уравнения регрессии										
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности при скалывании, МПа
3	0,446	-0,071	-0,064	0,024	-0,031	-0,022	-0,043	0,009	-0,052	-0,024	
4	Переменные										
5		x1	x2	x3							
6		-1	-1	0,884							0,592
7	Система ограничений										
8		1	0	0	-1	1					
9		1	0	0	-1	-1					
10		0	1	0	-1	1					
11		0	1	0	-1	-1					
12		0	0	1	0,884	1					
13		0	0	1	0,884	-1					
14											

Рисунок 4.7 – Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при скалывании

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Коэффициенты уравнения регрессии										
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности при статич. изгибе, МПа
3	71,3	-4,475	-3,861	7,322	-1,531	-2,997	-2,599	0,432	-0,319	0	
4	Переменные										
5		x1	x2	x3							
6		-1	-0,769	1							80,741
7	Система ограничений										
8		1	0	0	-1	1					
9		1	0	0	-1	-1					
10		0	1	0	-0,769	1					
11		0	1	0	-0,769	-1					
12		0	0	1	1	1					
13		0	0	1	1	-1					
14											

Рисунок 4.8 – Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при статическом изгибе

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Коэффициенты уравнения регрессии											
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности при растяжении, МПа	
3	56,2	-2,252	-2,094	4,25	0	-1,814	-1,022	0,335	0	0		
4	Переменные											
5		x1	x2	x3								
6		-1	-0,67	1							62,493	
7	Система ограничений											
8		1	0	0	-1	1						
9		1	0	0	-1	-1						
10		0	1	0	-0,67	1						
11		0	1	0	-0,67	-1						
12		0	0	1	1	1						
13		0	0	1	1	-1						
14												

Рисунок 4.9 – Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при растяжении

Таблица 4.8 – Полученные значения управляющих факторов

№ п/ п	Наименование управляемого параметра	Значения управляющих факторов в нормализован- ных обозначениях			Значения управляемых параметров в натуральных обозначениях
		x_1	x_2	x_3	
1	предел прочности при ска- лывании, МПа	-1	-1	0,884	0,59
2	предел прочности при ста- тическом изгибе, МПа	-1	-0,769	1	80,74
3	предел прочности при рас- тяжении, МПа	-1	-0,67	1	62,5

Для нахождения компромиссного решения поставленной задачи оптимизации использовался метод условного центра масс (см. главу 3). Результаты решения представлены на рисунке 4.10.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Расчет условной массы каждой из найденных оптимальных точек											
2												
3	x_1	x_2	x_3	y_1		x_1	x_2	x_3	y_1			
4	-1	-1	0,884	0,592		-1	-1	0,884	79,982			
5	-1	-0,769	1	0,470		-1	-0,769	1	80,741			
6	-1	-0,67	1	0,471		-1	-0,67	1	80,498			
7	Масса экстремальной точки m_1					Масса экстремальной точки m_2						
8	-	-	-	2,59		-	-	-	2,99			
9												
10	x_1	x_2	x_3	y_1								
11	-1	-1	0,884	62,025								
12	-1	-0,769	1	62,025								
13	-1	-0,67	1	62,493								
14	Масса экстремальной точки m_3											
15	-	-	-	2,99								
16												
17	Компромиссные значения управляющих факторов											
18												
19	x_1	-1				i	x_1	x_2	x_3	y_i , МПа		
20	x_2	-0,769				1	-1	-1	-1	0,47		
21	x_3	0,965				2	-0,769	-0,769	-0,769	80,26		
22						3	0,965	0,965	0,965	62,30		
23												

Рисунок 4.10 – Результаты решения компромиссной задачи оптимизации

Рациональные значения управляющих факторов составляют:

$$x^* = \begin{vmatrix} -1 \\ -0,769 \\ 0,965 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 60 \text{ мкм} \\ 3,6 \text{ мм} \\ 5,9 \text{ мин} \end{vmatrix} \quad (4.19)$$

Ожидаемые значения управляемых параметров составят:

- предел прочности при скалывании: $y_1^* = 0,47$ МПа;
- предел прочности при статическом изгибе: $y_2^* = 80,3$ МПа;
- предел прочности при растяжении: $y_3^* = 62,3$ МПа.

4.2.3 Исследование распределения связующего в зоне клеевого контакта

4.2.3.1 Постановка эксперимента

Целью исследования являлась определение степени проникновения адгезива (в частности, фольги) в граничные слои лущенного березового шпона в зависимости от толщины получаемого древесного композиционного материала «Фанотрен А».

Исследования распределения адгезива по толщине материала, а именно его распределение в зоне клеевого слоя, о структуре получаемого клеевого слоя и характере разрушений образцов в процессе их испытаний, дают представление о взаимодействии адгезива с древесиной, и следовательно качестве получаемого материала.

Адгезия клеевого слоя к поверхностям субстрата обеспечивается следующим факторами [301]:

- межмолекулярными силами, т.е. силами взаимодействия между молекулами адгезива и поверхности и зависят от размера молекул и наличия в их составе полярных групп;
- механическим заклиниванием адгезива в порах и микронеровностях поверхности субстрата («якорное зацепление»);
- взаимное проникновение (диффузия) молекул адгезива, что приводит к размыванию границы раздела между ними и упорядочению адгезионной связи.

Для обеспечения адгезии необходим тесный контакт между адгезивом и склеиваемыми поверхностями. Для получения такого контакта адгезив применяется в жидком виде (в данном случае в виде расплавленного сплава). Далее адгезив должно перейти из жидкого состояния в твердое путем фазовых переходов. Капиллярно-пористая структура древесины березового шпона способствует внедрению адгезива в виде расплавленного сплава в тело субстрата.

Клеевое соединение условно можно представить в виде слоистого композита (рисунок 4.11), причем толщина адгезива и зоны древесины, пропитанной им меньше толщины склеиваемого шпона.

Глубина проникновения адгезива в древесину различна и зависит от многих факторов, таких как плотность древесины, строение (ранняя или поздняя), количества и величины капилляров пор, влажности древесины, условий склеивания (давление, температура и т.д.) [11, 13, 162].

Толщина клеевого слоя не является постоянной величиной, явно выраженной по всей поверхности склеивания, и определяется, в первую очередь, природой адгезива, его расходом, поверхностными свойствами древесины [162].

Поскольку, сплав Вуда не смачивает поверхность лущеного шпона, и при контакте между ними могут образовываться только механические связи, то исследовать распределение сплава по толщине шпона при создании конструкции материала «Фанотрен А» можно путем исследования структуры порового пространства шпона. Такой метод исследования был разработан на кафедре Механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического института и защищен авторским свидетельством [302].

Образцы материала размером 200×200 мм помещались в чашу Петри, в которой находилась культура грибка *Coniophora Cerebella* при температуре 26±4 °С и относительной влажностью 80±20 %. Через 2-4 недели (времени, достаточного для полного разрушения древесного материала) полученный слепок очищался от продуктов жизнедеятельности культуры грибка путем погружения в воду. Слепок структуры порового пространства шпона, позво-

ляющего судить о распределении адгезива в виде сплава по толщине шпона, далее изучался с применением бинокулярной лупы.

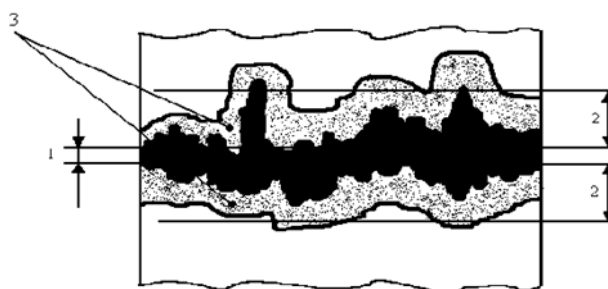


Рисунок 4.11 – Схема распределения адгезива в зоне контакта склеивания:
толщина сплошного клеевого слоя; 2- зона древесины,
пропитанная связующим; 3- древесина

Исследования, полученного слепка, свидетельствуют о том, что в структуре клеевого слоя материала «Фанотрен А» четко выделяются две зоны: первая (более тонкая) – это зона сплошного слоя, которая отличается более плотным и однородным строением; вторая - зона проникновения сплава в толщину шпона, которая представлена в виде сплава, распределенного по внутренним полостям, образующего своеобразную пространственную систему с различными ответвлениями, различных размеров, которая в процессе застывания сплава при прессовании материала образует прочный клеевой шов.

Для количественной оценки толщины сплошного слоя и глубины проникновения сплава в толщину шпона в конструкции материала были проведены исследования методом электронного сканирования. Для этого из полученных образцов материала были выполнены микросрезы на микротоме (толщина среза составляла $0,2 \pm 0,01$ мм). Полученные срезы укладывались между предметными стеклами и помещались в электронный сканер. Значения постоянных и управляющих факторы при проведении эксперимента приведены, соответственно, в таблицах 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9 – Постоянные факторы в эксперименте

№ п/п	Наименование фактора	Значение
1	толщина шпона, мм	1,5±0,1
2	слойность конструкции, шт	3
3	толщина фольги, мм	0,3±0,02
4	толщина микросреза, мм	0,2±0,01

Таблица 4.10 – Управляющие факторы в эксперименте

Наименование управляющего фактора	Значение	Наименование управляемого параметра
толщина материала, h , мм	4,5	глубина проникновения адгезива в толщину шпона, h_1 , мм
	4,0	
	3,5	толщина сплошного клеевого слоя, h_2 , мм

4.2.3.2 Результаты эксперимента и его анализ

Электронные сканы микросрезов по толщине материала представлены на рисунке 4.12.

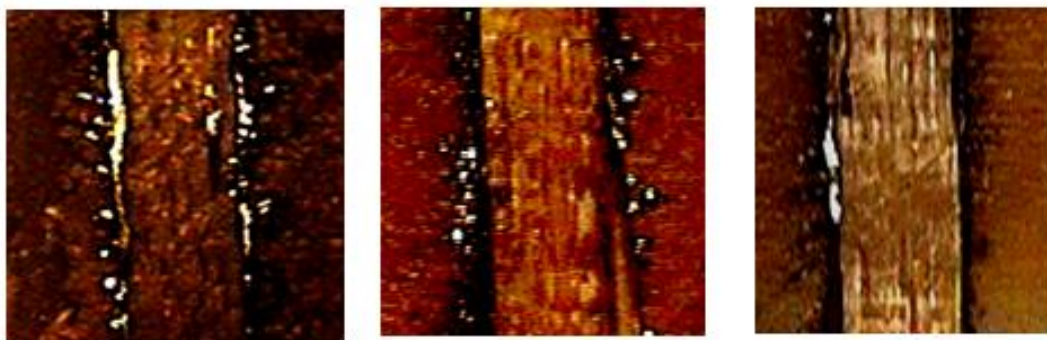


Рисунок 4.12 – Сканы микросрезов по толщине материала
(увеличение в 15 раз)

Статистическая обработка результатов исследования распределения сплава по толщине материала методом электронного сканирования осу-

ществлялась согласно методике, приведенной в главе 3. Результаты обработки полученных данных представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Результаты обработки полученных данных исследования распределения слоя сплава по толщине материала методом сканирования

h , мм	Исследуемая величина	п, шт	\bar{h} , мм	S , мм	S_h , мм	ν , %	ξ , %	$M_{h\pm}$, мм	$t_{9; 0.95}$
4,5	h_1 , мм	6	0,286	0,0067	0,0027	2,359	0,963	0,007	2,57
	h_2 , мм	6	0,184	0,0033	0,0013	3,548	1,148	0,0035	
4,0	h_1 , мм	6	0,304	0,0044	0,0018	1,447	0,591	0,0046	2,57
	h_2 , мм	6	0,178	0,008	0,0036	4,547	3,08	0,0084	
3,5	h_1 , мм	6	0,327	0,021	0,0086	6,231	2,543	0,022	2,57
	h_2 , мм	6	0,175	0,004	0,0016	3,419	1,396	0,0042	

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- для склеивания древесины, как пористого материала, характерно проникновение в поры древесины жидкого сплава, выступающего в роли адгезива в конструкции материала, в период предшествующий затвердеванию сплава. Проникновение сплава вглубь шпона полезно до определенного предела, т.к. при этом происходит увеличение граничной прочности контакта между склеиваемыми поверхностями;

- проникающий в поры древесины сплав распределяется по внутренним полостям, образуя своеобразную пространственную систему с различными ответвлениями, разных размеров, и образует при затвердевании прочный клеевой шов;

- слой фольги толщиной 0,3 мм в конструкции материала распределяется следующим образом: толщина сплошного слоя составляет $0,175 \div 0,181$ мм; глубина проникновения адгезива в толщину шпона – $0,29 \div 0,33$ мм.

4.3 Исследования процесса формирования материала «Фанотрен Б»

4.3.1 Разработка рецептуры пропитывающей композиции

Рассмотренный выше композиционный материал «Фанотрен А» отличается оригинальностью конструкции, т.к. применяемая в конструкции фольга на основе сплава Вуда одновременно выступает в роли связующего и рентгенозащитного слоя. Недостатком материала является то, что армирующие слои содержат в своем составе токсичный свинец. Также получаемый материал дорог и получение листового прокатка из сплава Вуда – достаточно трудоемкая задача. С целью устранения вышеперечисленных недостатков была предложена модификация материала - «Фанотрен Б». Этот композит выполнен также на основе березового шпона, а в основе конструкции рентгенозащитных слоев (РЗС) применяется волокнистый материал (типа синтепон), наполненный рентгенозащитной пропитывающей композицией, состоящей из минерального наполнителя (сульфата бария), клея на основе и дистиллированной воды. Подробно рассмотрим влияние этих компонентов на защитные свойства РЗС.

4.3.1.1 Планирование эксперимента

Разработка рецептуры рентгенозащитной пропитывающей композиции является задачей выбора многокомпонентного состава, целью которого является построение зависимости «состав – свойство». Для исследования таких систем и поиска оптимальных составов целесообразно использовать методы планирования эксперимента для смесей [277, 278]. Необходимым условием для возможности применения таких методов является равенство суммы компонентов смеси 100%.

В рецептуре рентгенозащитной пропитывающей композиции используется три компонента, поэтому целесообразно для исследования такой систе-

мы выбрать симплексно-центроидный план для изучения трехкомпонентной системы, включающий 7 опытов. Схема проведения эксперимента изображена на рисунке 4.13. Значения постоянных, наименование управляемых и диапазоны варьирования управляющих факторов в экспериментах приведены соответственно в таблицах 4.12 - 4.13. Диапазоны изменения управляющих факторов выбраны с учетом пробных экспериментов.

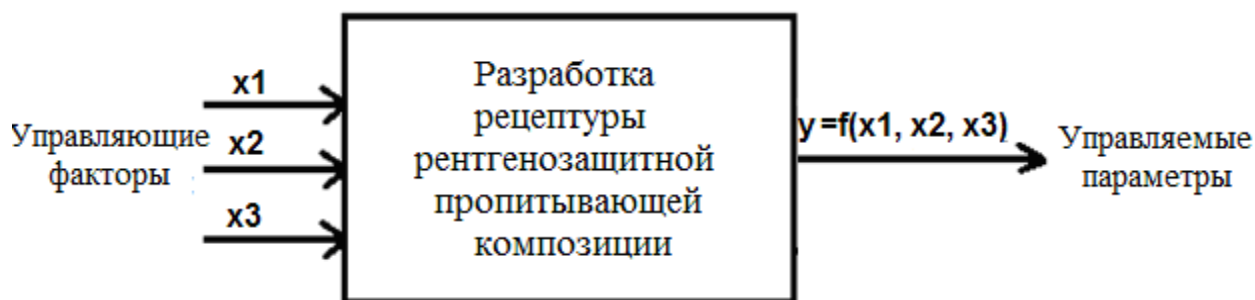


Рисунок 4.13 – Схема проведения эксперимента разработки рецептуры рентгенозащитной пропитывающей композиции

Таблица 4.12 – Значения постоянных факторов в эксперименте

№ п/п	Наименование фактора	Значение
1	удельное давление прессования, МПа	1,5±0,1
2	продолжительность перемешивания композиции, мин	5±1
3	продолжительность сушки РЗС, ч	48±1
4	температура плит пресса, °С	50±2
5	продолжительность уплотнения РЗС, мин	5±1
6	толщина РЗС, мм	3±0,1

Таблица 4.13 – Диапазоны варьирования управляющих факторов в эксперименте

№ п/п	Наименование компонента	обозначение	Значения на уровнях варьирования			
			нижний		верхний	
			натуральное	нормализованное	натуральное	нормализованное
1	содержание минерального наполнителя, M_1 , %.	x_1	40	-1	60	0
2	содержание связующего, M_2 , %	x_2	25	-1	45	0
3	содержание воды, M_3 , %.	x_3	15	-1	35	0

Таблица 4.14 – Наименование управляемых параметров в эксперименте

Наименование параметра	Нормализованное обозначение
свинцовый эквивалент РЗС, мм Рв/мм (режим: продолжительность экспозиции 0,06 с, сила тока 40 мА, напряжение 60 кВт).	\hat{y}

В связи с тем, что для построения плана необходимо, чтобы содержание компонентов вершины симплекса были равны 1, то следует перейти к новой системе координат, в которой вершины треугольника приняты за самостоятельные компоненты (нормализованные значения) x_1, x_2, x_3 .

Перейти к искомым компонентам многокомпонентной системы можно с помощью следующей системы уравнений [278]:

$$\begin{cases} M_1^{(u)} = M_1^{(1)} + x_2^{(u)} \cdot (M_1^{(2)} - M_1^{(1)}) + x_3^{(u)} \cdot (M_1^{(3)} - M_1^{(1)}); \\ M_2^{(u)} = M_2^{(1)} + x_2^{(u)} \cdot (M_2^{(2)} - M_2^{(1)}) + x_3^{(u)} \cdot (M_2^{(3)} - M_2^{(1)}); \\ \dots\dots\dots; \\ M_q^{(u)} = M_q^{(1)} + x_2^{(u)} \cdot (M_q^{(2)} - M_q^{(1)}) + x_3^{(u)} \cdot (M_q^{(3)} - M_q^{(1)}) \end{cases} \quad (4.20)$$

где $M_i^{(u)}$ - натуральные значения управляющих факторов;

$x_i^{(u)}$ - нормализованные значения управляющих факторов;

$i = 1, 2 \dots, q$ – номер компонента;

(u) - номер управляющего фактора.

Результаты проведения экспериментальных исследований и их статистическая обработка согласно [276, 277, 279 – 285] осуществлялась средствами *Microsoft Excel 2010* представлены в приложение 10.

В результате проведения эксперимента были получены зависимости управляемых параметров от управляющих факторов в виде аппроксимирующего полинома второго порядка.

В таблице 4.15 приведены средние значения результатов реализации эксперимента по симплексно-центроидному плану для трехкомпонентной смеси ($q = 3$) для управляемого параметра \hat{y} .

Таблица 4.15 Результаты реализации экспериментов по разработке рецептуры для РЗС по симплексно-центроидному плану, $q = 3$

№ п/п	Нормализованные обозначения управляющих факторов			Средние значения управляемых параметров
	x_1	x_2	x_3	\hat{y}
1	1	0	0	0,309
2	0	1	0	0,176
3	0	0	1	0,142
4	0,5	0,5	0	0,263
5	0	0,5	0,5	0,243
6	0,5	0	0,5	0,128
7	0,33	0,33	0,33	0,214

4.3.1.2 Результаты эксперимента его обработка и анализ

Коэффициенты регрессионной модели рассчитывались согласно [277, 278] формулы для расчета приведены в главе 3.

Полученная математическая модель имеет вид:

$$\hat{y} = 0,309x_1 + 0,176x_2 + 0,142x_3 + 0,084x_1x_2 - 0,075x_1x_3 - 0,125x_2x_3 + 0,486x_1x_2x_3. \quad (4.21)$$

По результатам полученных экспериментальных данных была построены проекция поверхности отклика математической модели на симплексе пропитывающей композиции (рисунок 4.14).

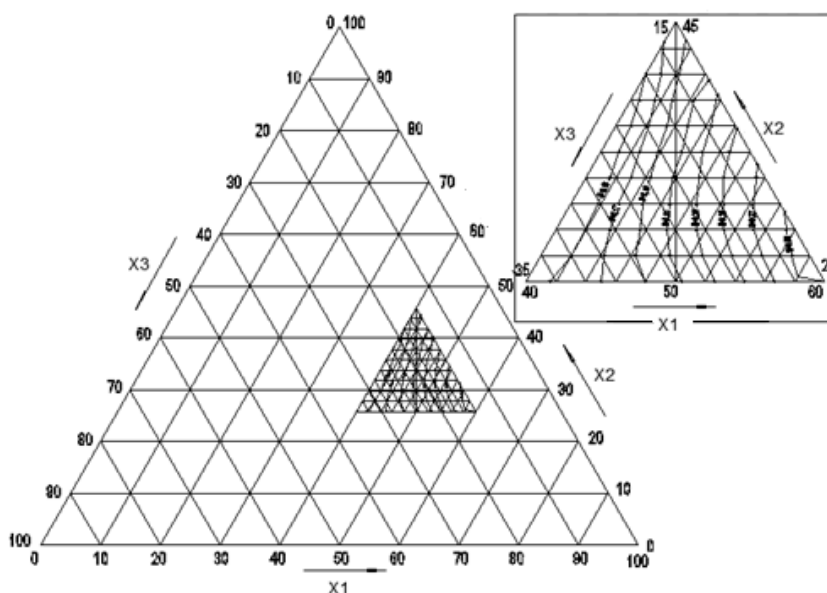


Рисунок 4.14 – Проекция поверхности отклика на симплексе для пропитывающей композиции: изолинии – величина свинцового эквивалента

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. уменьшение количества связующего и воды и увеличение количества минерального наполнителя и в пропитывающей композиции повышают величину защитных свойств РЗС;

2. содержание минерального наполнителя (сульфата бария) в пропитывающей композиции не должно превышать 60 %, т.к. его дальнейшее увеличение приведет к получению высоковязкой композиции, которая не способна

пропитать матрицу (синтепон), что приведет к отсутствию адгезионного взаимодействия между ними;

3. тщательное перемешивание пропитывающей композиции способствует более равномерному распределению частиц сульфата бария в смеси и повышению рентгенозащитных свойств РЗС;

4. в процессе создания РЗС при отверждении связующего происходит реакция поликонденсации с образованием пространственно сшитой молекулы полимера. Отвержденное связующее будет иметь высокую степень полимеризации, что подтверждается высокой прочностью, плотностью, твердостью и низкой пластичностью РЗС.

5. для повышения физико-механических показателей материала «Фанотрен Б» необходимо увеличить площадь контакта между шпоном и РЗС. С этой целью армирующие слои предварительно уплотняются в прессе, разогретом до температуры 50 ± 2 °С с до толщины $3 \pm 0,1$ мм (с использованием дистанционных планок).

4.3.2 Исследование процесса интенсификации сушки рентгенозащитного слоя

4.3.2.1 Планирование эксперимента

Пропитанные образцы РЗС сушатся, а затем высохший материал собирается в слоистый пакет и запрессовывается согласно заданному технологическому режиму.

При проведении экспериментов процесс сушки РЗС проводился при комнатной температуре 20 ± 2 °С и пропитанные образцы в среднем высыхали за 44-48 часов. Такой длительный процесс сушки РЗС вызывает определенные неудобства, если изготавливать его в условиях серийного или массового производства. Во-первых, ведет к увеличению производственных площадей для организации мест технологической выдержки, а во-вторых, уменьшает

объем выпуска продукции в целом, так как является «узким местом» всего технологического процесса [303]. Для интенсификации процесса сушки РЗС входящего в конструкцию материала «Фанотрен-Б» был проведен эксперимент. Исследовались 10 вариантов рентгенозащитной пропитывающей композиции, которым наполнялся волокнистый материал (синтепон).

4.3.2.2 Результаты эксперимента и его анализ

Результаты испытаний представлены в таблице 4.16 и на рисунке 4.15.

Таблица 4.16 – Определение продолжительности сушки РЗС

время, мин	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
	Масса образца, г												
1	12,6	9,0	7,97	7,14	6,56	6,26	6,0	5,89	5,82	5,78	5,77	5,77	5,77
2	15,4	12,0	10,7	9,71	8,84	8,25	7,7	7,25	6,88	6,62	6,35	6,35	6,35
3	16,3	10,4	9,14	6,88	5,9	5,57	5,45	5,43	5,42	5,42	5,42	-	-
4	15,1	10,7	8,76	7,2	5,88	5,57	5,56	5,55	5,54	5,54	5,54	-	-
5	18,0	14,3	13,5	12,4	11,6	11,1	10,5	10,1	9,58	9,27	8,69	8,69	8,69
6	18,1	15,1	14,0	12,9	12,1	11,5	10,9	10,4	9,89	9,48	9,15	9,15	9,15
7	18,5	15,0	13,2	11,9	9,92	9,28	8,92	8,83	8,78	8,76	8,76	8,76	-
8	11,3	9,71	8,31	6,67	5,23	4,82	4,8	4,79	4,78	4,78	4,78	-	-
9	16,1	14,5	12,8	11,2	9,86	9,14	8,66	8,48	8,41	8,4	8,2	8,2	8,2
10	14,6	12,3	11,1	9,63	8,45	7,77	7,05	6,85	6,77	6,75	6,72	6,72	6,72

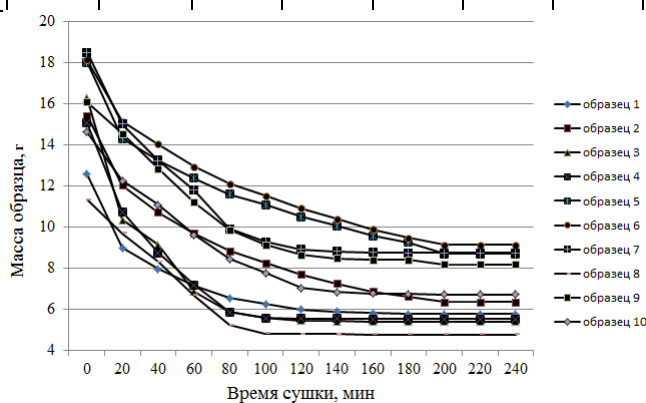


Рисунок 4.15 – Изменение массы РЗС в процессе его высыхания

По результатам исследований можно сделать выводы:

- увеличением температуры до $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ продолжительность сушки можно сократить до 3,5 - 4 ч. ;

- согласно полученной графической зависимости видно, что в течение первых 80 минут образцы РЗС интенсивно теряют массу, дальнейшая потеря массы – незначительна;

- процесс интенсификации сушки РЗС ведет к сокращению производственных площадей и повышению производительности выпуска готовой продукции.

4.3.3 Исследование влияния режимных параметров формирования материала на его физико – механические свойства

4.3.3.1 Планирование эксперимента

Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 4.16. Для его проведения выбран трехфакторный план Бокса B_3 , включающий 14 опытов. Значения постоянных, наименование управляемых и диапазоны варьирования управляющих факторов при проведении экспериментов приведены соответственно в таблицах 4.17 - 4.19. Диапазоны изменения управляющих факторов выбраны с учетом пробных экспериментов, а также теоретического анализа и практического опыта производства фанеры [10 - 16].

Таблица 4.17 – Значения постоянных факторов в эксперименте

№ п/п	Наименование фактора	Значение
1	относительная влажность воздуха, %	65 ± 5
2	температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	20 ± 2
3	содержание компонентов в пропитывающей композиции, %: - минеральный наполнитель - связующее - вода	50 30 20
4	толщина шпона, мм	$1,5\pm 0,1$

№ п/п	Наименование фактора	Значение
5	влажность шпона, %	6 ± 2
6	толщина РЗС, мм	$3 \pm 0,1$
7	количество листов шпона в конструкции, шт.	3
8	размеры материала, мм: - длина - ширина	200 ± 1 200 ± 1
9	Продолжительность открытой выдержки, мин	6 ± 1

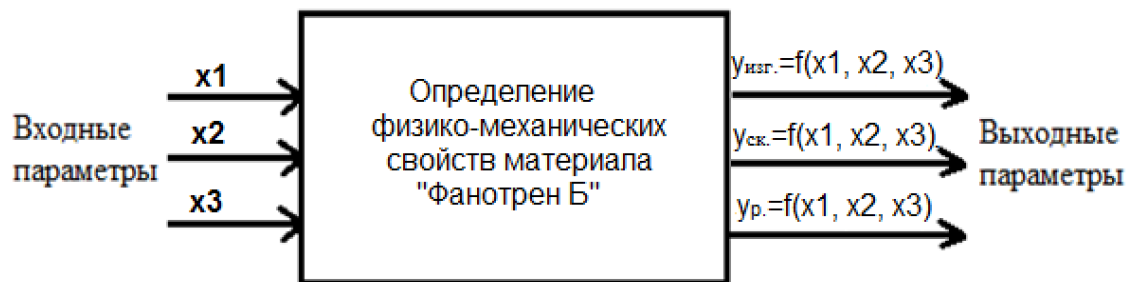


Рисунок 4.16 – Схема проведения эксперимента по определению физико-механических свойств материала «Фанотрен Б»

Таблица 4.18 – Диапазоны варьирования управляющих факторов

№ п/п	Наименование фактора	обозначение	Значения на уровнях варьирования:					
			нижнем		основном		верхнем	
			натуральное	нормализованное	натуральное	нормализованное	натуральное	нормализованное
1	расход клея, q , г/м ²	x_1	150	-1	175	0	200	+1
2	температура плит пресса, t , °С	x_2	50	-1	60	0	70	+1
3	продолжительность прессования, τ , мин	x_3	6	-1	7	0	8	+1

Таблица 4.19 – Наименование управляемых параметров в эксперименте

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Нормализованное обозначение
1	предел прочности при скалывании по клеевому слою, МПа	$\sigma_{ск.}$	\hat{y}_1
2	предел прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев, МПа	$\sigma_{изг.}$	\hat{y}_2
3	предел прочности при растяжении вдоль волокон, МПа	$\sigma_p.$	\hat{y}_3

4.3.3.2 Результаты эксперимента и его обработка

Результаты проведения экспериментальных исследований и их статистическая обработка согласно [276, 277, 279 – 285] и осуществлялись средствами *Microsoft Excel 2010* представлены в приложениях 11 - 13.

В результате были получены зависимости управляемых параметров от управляющих факторов в виде полиномов (уравнений регрессии) второго порядка. Каждый из полученных уравнений регрессии представляет собой математическую модель процесса формирования материала «Фанотрен Б» по конкретному управляемому параметру. Полученные математические модели использовались для оптимизации процесса формирования полученного материала.

В таблице 4.20 приведены средние значения результатов реализации эксперимента по плану B_3 для параметров для управляемых параметров \hat{y}_1, \hat{y}_2 , и \hat{y}_3 .

Таблица 4.20 – Результаты реализации экспериментов по определению физико-механических свойств материала «Фанотрен Б» по плану B_3

№ п/п	Нормализованные обозначения управляющих факторов			Средние значения управляемых параметров		
	x_1	x_2	x_3	\hat{y}_1	\hat{y}_2	\hat{y}_3
1	1+	1	1	1,01	11,8	25,9
2	-1	1	1	1,21	19,1	37,07

№ п/п	Нормализованные обозначения управляющих факторов			Средние значения управляемых параметров		
	x_1	x_2	x_3	\hat{y}_1	\hat{y}_2	\hat{y}_3
3	1+	-1	1	1,17	17,13	23,63
4	-1	-1	1	1,42	19,9	34,27
5	1	1	-1	0,66	14,97	217
6	-1	1	-1	0,85	12,17	24,0
7	1	-1	-1	0,81	19,13	19,77
8	-1	-1	-1	1,03	18,27	18,1
9	1	0	0	1,02	21,4	25,63
10	-1	0	0	1,27	15,4	32,03
11	0	1	0	1,08	20,33	32,83
12	0	-1	0	1,25	19,3	26,17
13	0	0	1	1,32	15,73	27,83
14	0	0	-1	0,96	13,3	32,87

4.3.3.3 Построение математических моделей

Построение математических моделей в виде функций отклика для выходных параметров \hat{y}_1 , \hat{y}_2 и \hat{y}_3 проводилось по методике, описанной в главе 3.

Статистический анализ полученных результатов подтвердил однородность дисперсии и значимость коэффициентов уравнений регрессии, которые имеют следующий вид:

- в нормализованных обозначениях факторов:

$$\hat{y}_1 = 1,21 - 0,013x_1 - 0,085x_2 + 0,18x_3 - 0,27x_1^2 - 0,05x_2^2 - 0,09x_3^2 + 0,01x_1x_2 - 0,005x_1x_3 - 0,004x_2x_3; \quad (4.22)$$

$$\hat{y}_2 = 18,1 - 0,04x_1 - 1,54x_2 + 0,58x_3 + 0,31x_1^2 + 1,73x_2^2 - 3,57x_3^2 - 0,32x_1x_2 - 1,72x_1x_3 + 0,52x_2x_3; \quad (4.23)$$

$$\hat{y}_3 = 31,6 - 2,9x_1 + 1,94x_2 + 3,24x_3 - 2,74x_1^2 - 2,07x_2^2 - 1,22x_3^2 - 0,58x_1x_2 + 1,63x_1x_3 - 0,33x_2x_3. \quad (4.24)$$

- в натуральных обозначениях факторов:

$$\sigma_{ск.} = -17,19 + 0,16q + 0,064t + 1,5\tau - 0,0004q^2 - 0,0005t^2 - 0,09\tau^2 + 0,000004qt - 0,0002q\tau - 0,0003t\tau; \quad (4.25)$$

$$\sigma_{изг.} = -383,1 + 4,28q - 2,29t + 56,96\tau - 0,01q^2 - 0,002t^2 - 4,19\tau^2 + 0,000004qt - 0,0006q\tau - 0,001t\tau; \quad (4.26)$$

$$\sigma_p. = -201,2 + 0,14q + 2,68t + 20,3\tau - 0,004q^2 - 0,021t^2 - 1,22\tau^2 + 0,000002qt + 0,0003q\tau - 0,0009t\tau. \quad (4.27)$$

По результатам полученных экспериментальных данных были построены графическая интерпретация зависимости изменения управляемых параметров от управляющих факторов (рисунки 4.17 – 4.19).

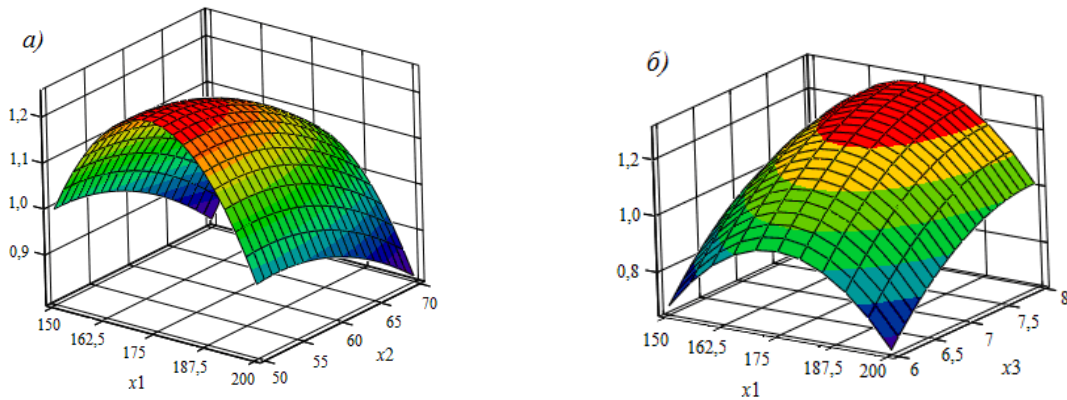


Рисунок 4.17 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при скалывании): x_1 – расход клея; x_2 – температура плит пресса; x_3 – продолжительность прессования

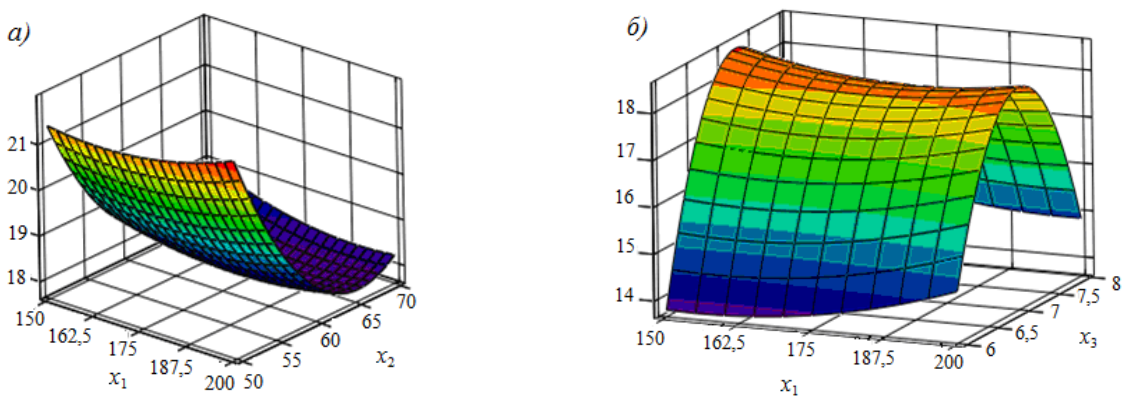


Рисунок 4.18 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при статическом изгибе): x_1 – расход клея; x_2 – температура плит пресса; x_3 – продолжительность прессования

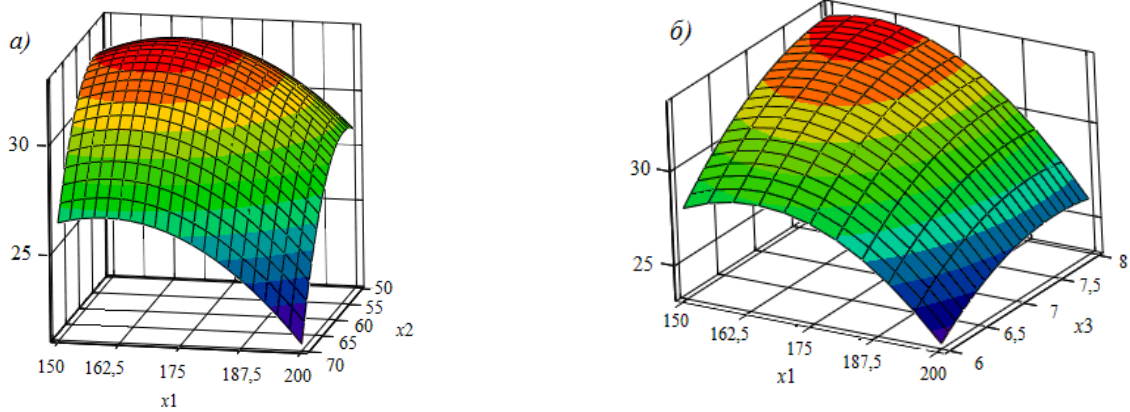


Рисунок 4.19 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при растяжении): x_1 – расход клея; x_2 – температура плит прессы; x_3 – продолжительность прессования

4.3.3.4 Решение задачи оптимизации

Согласно соображениям, приведенным в п. 4.2.3.3 оптимизационную модель сформируем в следующем виде:

а) целевая функция:

$$W = 18,1 - 0,04x_1 - 1,54x_2 + 0,58x_3 + 0,31x_1^2 + 0,73x_2^2 - 3,57x_3^2 + 0,32x_1x_2 - 1,72x_1x_3 + 0,52x_2x_3 \rightarrow \max; \quad (4.28)$$

б) система ограничений:

$$1,21 - 0,013x_1 - 0,085x_2 + 0,18x_3 - 0,27x_1^2 - 0,05x_2^2 - 0,09x_3^2 + 0,01x_1x_2 - 0,005x_1x_3 - 0,004x_2x_3 \leq 1,2; \quad (4.29)$$

$$31,6 - 2,9x_1 + 1,94x_2 + 3,24x_3 - 2,74x_1^2 - 2,07x_2^2 - 1,22x_3^2 - 0,58x_1x_2 + 1,63x_1x_3 - 0,33x_2x_3 \leq 30; \quad (4.30)$$

$$-1 \leq x_1 \leq 1; \quad (4.31)$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1; \quad (4.32)$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1. \quad (4.33)$$

Для решения вышеприведенной оптимизационной модели использовалась технология оптимизации *Microsoft Excel 2010* встроенной надстройки «Поиск решения». Оптимизация осуществлялась с применением метода

обобщенного приведенного градиента (ОПГ). Результаты решения задачи оптимизации приведены на рисунке 4.20.

P24												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Коэффициенты уравнения регрессии												
b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности при изгибе, МПа		
18,1	-0,04	-1,54	0,58	0,31	1,73	-3,57	-0,32	-1,72	0,52	21,8		
Переменные												
x1	x2	x3										
1,000	-1,000	0,322										
Система ограничений												
1	0	0	1,000	1								
1	0	0	1,000	-1								
0	1	0	-1,000	1								
0	1	0	-1,000	-1								
0	0	1	0,322	1								
0	0	1	0,322	-1								
1,21	-0,013	-0,085	0,18	-0,27	-0,05	-0,09	0,01	-0,005	-0,004	1,00	1,2	
31,6	-2,9	1,94	3,24	-2,74	-2,07	-1,22	-0,58	1,63	-0,33	24,08	30	

Рисунок 4.20 - Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при статическом изгибе материала

Оптимальные значения управляющих факторов составляют:

$$x^* = \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \\ -0,322 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 150 \text{г/м}^2 \\ 50^\circ\text{C} \\ 7,3 \text{мин} \end{vmatrix} \quad (4.34)$$

Ожидаемые значения управляемых параметров составят:

- предел прочности при скалывании: $y_1^* = 1,0$ МПа;
- предел прочности при статическом изгибе: $y_2^* = 21,8$ МПа;
- предел прочности при растяжении: $y_3^* = 26,8$ МПа.

4.3.3.5 Определение рациональных значений режимных параметров формирования материала

Полученные математические модели использовались для нахождения экстремальных значений управляющих параметров в процессе формирования композиционного материала «Фанотрен Б». Задача оптимизации была поставлена следующим образом:

а) целевая функция для определения максимального значения предела прочности:

- при скалывании по клеевому слою (W_1):

$$W_1 = 1,21 - 0,013x_1 - 0,085x_2 + 0,18x_3 - 0,27x_1^2 - 0,05x_2^2 - 0,09x_3^2 + 0,01x_1x_2 - 0,005x_1x_3 - 0,004x_2x_3 \rightarrow \max; \quad (4.35)$$

- при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев (W_2):

$$W_2 = 18,1 - 0,04x_1 - 1,54x_2 + 0,58x_3 + 0,31x_1^2 + 1,73x_2^2 - 3,57x_3^2 - 0,32x_1x_2 - 1,72x_1x_3 - 0,52x_2x_3 \rightarrow \max; \quad (4.36)$$

- при растяжении вдоль волокон (W_3):

$$W_3 = 31,6 - 2,9x_1 + 1,94x_2 + 3,24x_3 - 2,74x_1^2 - 2,07x_2^2 - 1,22x_3^2 - 0,58x_1x_2 + 1,63x_1x_3 - 0,33x_2x_3 \rightarrow \max; \quad (4.37)$$

б) для целевых функций 5.19 – 4.21 справедлива следующая система ограничений:

$$\begin{cases} -1 \leq x_1 \leq 1 \\ -1 \leq x_2 \leq 1. \\ -1 \leq x_3 \leq 1 \end{cases} \quad (4.38)$$

Для определения экстремальных значений управляющих факторов использовалась технология оптимизации *Microsoft Excel 2010* встроенной надстройки «Поиск решения». Оптимизация осуществлялась с применением метода обобщенного приведенного градиента (ОПГ). Полученные результаты решения приведены на рисунках 4.21 – 4.22 и в таблице 4.21.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Коэффициенты уравнения регрессии										
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности при скалывании, МПа
3	1,21	-0,013	-0,085	0,18	-0,27	-0,05	0,09	0,01	-0,005	-0,004	
4	Переменные										
5		x1	x2	x3							
6		-0,042	-0,944	1							1,520
7	Система ограничений										
8		1	0	0	-0,042	1					
9		1	0	0	-0,042	-1					
10		0	1	0	-0,944	1					
11		0	1	0	-0,944	-1					
12		0	0	1	1,0	1					
13		0	0	1	1,0	-1					
14											

Рисунок 4.21 – Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при скалывании

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Коэффициенты уравнения регрессии											
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23		
3	18,1	-0,04	-1,54	0,58	0,31	1,73	-3,57	-0,32	-1,72	0,52		
4	Переменные											Предел прочности при изгибе, МПа
5	x1	x2	x3									
6	-1,000	-1	0,249									
7	Система ограничений											
8		1	0	0	-1,000							
9		1	0	0	-1,000							
10		0	1	0	-1,0							
11		0	1	0	-1,0							
12		0	0	1	0,249							
13		0	0	1	0,249							
14												

Рисунок 4.22 – Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при статическом изгибе

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Коэффициенты уравнения регрессии											
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23		
3	31,6	-2,9	1,94	3,24	-2,74	-2,07	-1,22	-0,58	1,63	-0,33		
4	Переменные											Предел прочности при растяжении, МПа
5	x1	x2	x3									
6	-0,277	0,428	1									
7	Система ограничений											
8		1	0	0	-0,277							
9		1	0	0	-0,277							
10		0	1	0	0,428							
11		0	1	0	0,428							
12		0	0	1	1							
13		0	0	1	1							
14												

Рисунок 4.23 – Решение задачи оптимизации определения максимального значения предела прочности при растяжении

Таблица 4.21 – Полученные значения управляющих факторов

№ п/п	Наименование управляемого параметра	Значения управляющих факторов в нормализованных обозначениях			Значения управляемых параметров в натуральных обозначениях
		x_1	x_2	x_3	
1	предел прочности при скалывании, МПа	-0,042	-0,944	1	1,52
2	предел прочности при статическом изгибе, МПа	-1	-1	0,249	21,6
3	предел прочности при растяжении, МПа	-0,277	-0,428	1	34,1

Для нахождения компромиссного решения поставленной задачи оптимизации использовался метод условного центра масс, результаты решения представлены на рисунке 4.24.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Расчет условной массы каждой из найденных оптимальных точек									
2										
3	x 1	x 2	x 3	y 1		x 1	x 2	x 3	y 1	
4	-0,042	-0,944	1	1,52		-0,042	-0,944	1	17,9	
5	-1	-1	0,249	1,051		-1	-1	0,249	21,6	
6	-0,277	0,428	1	1,416		-0,277	0,428	1	15,5	
7	Масса экстремальной точки m 1					Масса экстремальной точки m 2				
8	-	-	-	2,62		-	-	-	2,55	
9										
10	x 1	x 2	x 3	y 1						
11	-0,042	-0,944	1	29,94						
12	-1	-1	0,249	27,56						
13	-0,277	0,428	1	34,14						
14	Масса экстремальной точки m 3									
15	-	-	-	2,68						
16										
17	Компромиссные значения управляющих факторов									
18										
19	x 1	0			i	x 1	x 2	x 3	y _i , МПа	
20	x 2	-0,503			1	0	0	0	1,43	
21	x 3	0,757			2	-0,503	-0,503	-0,503	17,50	
22					3	0,757	0,757	0,757	31,98	
23										
24										

Рисунок 4.24 – Результаты решения компромиссной задачи оптимизации

Рациональные значения управляющих факторов составляют:

$$x^* = \begin{vmatrix} 0 \\ -0,503 \\ 0,757 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 175г/м^2 \\ 65^{\circ}C \\ 6,2мин \end{vmatrix}. \quad (4.39)$$

Ожидаемые значения управляемых параметров составят:

- предел прочности при скалывании: $y_1^* = 1,43$ МПа;
- предел прочности при статическом изгибе: $y_2^* = 17,5$ МПа;
- предел прочности при растяжении: $y_3^* = 32$ МПа.

Однако следует отметить, что достижение максимально высоких физико-механических показателей для материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» не является основной целью. Наиболее важной для этих материалов является рентгенозащитная составляющая.

4.3.4 Исследование степени разбухания по толщине и водопоглощение

4.3.4.1 Постановка эксперимента

Подробная методика проведения эксперимента описана в главе 3. Значения постоянных факторов в эксперименте приведены в таблице 4.22.

Таблица 4.22 – Постоянные факторы в эксперименте

№п/п	Наименование	Значение
1	температура окружающей среды, °С	20±2
2	относительная влажность воздуха, %	65±5
3	Размеры образца, мм	
	- длина	50±2
	- ширина	50±2
	- толщина	9,5±0,5
4	температура воды в эксикаторе, °С	20±2
5	время вымачивания, ч	24

4.3.4.2 Результаты эксперимента и его обработка

По результатам полученных экспериментальных данных вычислялись статистические характеристики полученных выборок, приведенные в главе 3 [276].

Результаты исследований и статистической обработки полученных экспериментальных данных по определению степени водопоглощения и разбухания по толщине образцов композиционного материала «Фанотрен Б» приведены соответственно в таблицах 4.23 и 4.24.

Таблица 4.23 – Статистическая обработка экспериментальных данных по определению степени водопоглощения образцов

Номер образца	1	2	3	4	5	6	Итого:
Водопоглощение, W , %	70,6	57,9	62,8	63,8	66,5	59,3	380,9
Среднее арифметическое значение, \bar{W} , %	63,48						
Дисперсия, s^2	21,8						

Номер образца	1	2	3	4	5	6	Итого:
Коэффициент вариации, ν	7,35						
Ошибка среднего арифметического, s_p	1,91						
Показатель точности среднего значения, ζ	3,002						
Ошибка среднего квадратического отклонения, s_s	1,35						

Таблица 4.24 – Статистическая обработка экспериментальных данных по определению степени разбухания по толщине образцов

Номер образца	1	2	3	4	5	6	Итого:
Разбухание, S , %	18	15,8	15,8	15,3	17,6	17,1	99,6
Среднее арифметическое значение, \bar{S} , %	16,6						
Дисперсия, s^2	1,24						
Коэффициент вариации, ν	6,7						
Ошибка среднего арифметического, s_p	0,45						
Показатель точности среднего значения, ζ	2,73						
Ошибка среднего квадратического отклонения, s_s	0,32						

4.4 Исследование рентгенозащитных свойств материалов

«Фанотрен А» и «Фанотрен Б»

4.4.1 Постановка эксперимента

Защитные свойства оценивались величиной свинцового эквивалента. Подробная методика проведения эксперимента представлена в главе 3. Значения постоянных и управляющих факторов при проведении эксперимента представлены соответственно в таблицах 4.25 и 4.26.

Таблица 4.25 – Постоянные факторы в эксперименте

№п/п	Наименование	Значение
1	температура окружающей среды, °С	20±2
2	относительная влажность воздуха, %	65±5
3	размеры образца, мм	
	- длина	50±1
	- ширина	50±1
4	Режим экспозиции:	20±2
	- время, с	0,06
	- сила тока, мА	40

Таблица 4.26 – Управляющие факторы при проведении эксперимента

№п/п	Наименование	Значение
1	образец испытываемого материала толщиной, мм:	
	- свинец	1,05
	- свинец	0,75
	- просвинцованная резина	5
	- «Фанотрен А»	3±0,1
	- «Фанотрен Б»	9,5±0,1
2	напряжение на трубке, кэВ	40, 60, 75

4.4.2 Результаты эксперимента

Полученные экспериментальные данные по определению рентгенозащитных свойств материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б» приведены в таблице 4.27. Графические зависимости изменения рентгенозащитных свойств материалов в зависимости от режимов экспозиции приведены на рисунке 4.25.

Таблица 4.27 – Экспериментальные данные по определению рентгенозащитных свойств разработанных материалов

Наименование материала	Величина свинцового эквивалента, мм/Pb мм при режиме экспозиции:		
	40кэВ, 40мА, 0,06с	60кэВ, 40мА, 0,06с	75кэВ, 40мА, 0,06с
Свинец толщиной 1,05 мм	1,05	1,05	1,05
Свинец толщиной 0,75 мм	1,03	0,94	1,02
Просвинцованная резина	1	1	1,07
«Фанотрен А»	0,89	0,78	0,66
«Фанотрен Б»	0,62	0,56	0,27

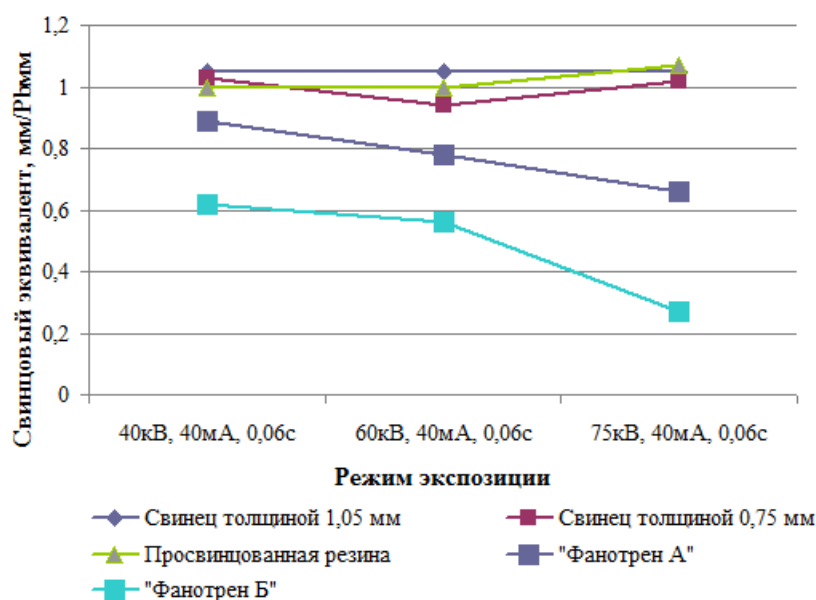


Рисунок 4.25 – Рентгенозащитные свойства материалов в зависимости от режима экспозиции

4.5 Выводы по главе

На основании приведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Контактная поверхность древесного шпона является гидрофобной по отношению к металлической фольге, поэтому контактное взаимодействие между этими материалами достигается лишь механическим внедрением адге-

зива, находящегося в расплавленном состоянии вглубь пористой структуру древесины лиственных пород. Адгезионная прочность – это результат действия сил механической адгезии, которая в данном случае характеризуется количеством «якорных зацеплений», степенью разветвленности этих зацеплений и глубиной проникновения расплавленного сплава в граничные слои древесного субстрата;

2. Для создания конструкции древесного композита «Фанотрен А» характерно проникновение в поры древесного шпона лиственных пород жидкого сплава, выступающего в роли адгезива в конструкции материала, в период предшествующий его затвердеванию сплава. Проникающий в поры древесины сплав распределяется по внутренним полостям, образуя своеобразную пространственную систему с различными ответвлениями, разных размеров, и образует при затвердевании прочный клеевой шов. Слой фольги толщиной 0,3 мм в конструкции материала распределяется следующим образом: толщина сплошного слоя составляет $0,175 \div 0,181$ мм; глубина проникновения адгезива в толщину шпона – $0,29 \div 0,33$ мм;

3. Рациональные режимы создания конструкции древесного композиционного материала «Фанотрен А» - шероховатость поверхности шпона – 60 мкм, толщина прессуемого материала – 3,6 мм, продолжительность прессования – 6 мин. При этом ожидаемые физико – механические свойства – предел прочности: при скалывании по клеевому слою 0,47 МПа, при статическом изгибе вдоль наружных слоев – 80 МПа, при растяжении вдоль волокон – 62 МПа.

4. Для создания РЗС, используемых в качестве армирующих элементов в конструкции материала «Фанотрен Б» используется пропитывающая композиция, на основе минерального наполнителя (сульфата бария). Его содержание не должно превышать 60 %, т.к. его дальнейшее увеличение приведет к получению высоковязкой композиции, неспособной пропитать матрицу;

5. Увеличение температуры сушки РЗС до $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ позволит сократить ее продолжительность до 3,5 - 4 ч.

6. Рациональные режимы создания древесного композиционного материала «Фанотрен Б» – расход связующего – 175 г/м^2 ; температура плит прессы – $65 \text{ }^\circ\text{C}$, продолжительность прессования – 6,2 мин. При этом ожидаемые физико – механические свойства – предел прочности: при скалывании по клеевому слою 1,43 МПа, при статическом изгибе вдоль наружных слоев – 17,5 МПа, при растяжении вдоль волокон – 32 МПа.

7. Степень водопоглощения материала «Фанотрен Б» – 63,5%, разбухание по толщине – 17 %; у «Фанотрен А» - эти показатели не нормируются;

8. Свинцовый эквивалент (режим экспонирования: напряжение 60 кэВ, сила тока 40 мА, время 0,06 с) для материала «Фанотрен А» составляет 0,78 мм/Pb мм, для материала «Фанотрен Б» - 0,56 мм/Pb мм.

5. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ

5.1 Постановка задачи

Высокоэффективные композиционные материалы, обладающие рентгенозащитными свойствами возможно изготавливать и на основе древесных отходов (стружки, опилок и пр.) в сочетании с минеральным наполнителем и связующим. Эти материалы по своей конструкции подобны таким плитным материалам, как древесностружечные плиты, плиты МДФ и должны в себе сочетать какие свойства, как механическую прочность, стабильность размеров и формы, не иметь запаха, быть нетоксичными, экологически безопасными.

На основе типовых технологических процессов производства древесностружечных плит [27, 37 - 42] были предложены материалы «Плитотрен» и «DS-1». Рассмотрим подробно особенности их формирования.

5.2 Исследование влияния количества наполнителя в древесно-клеевой композиции на физико-механические свойства материалов

5.2.1 Планирование эксперимента

Целью эксперимента является установление влияния количества минерального наполнителя (сульфата бария) в составе древесно – клеевой композиции на физико-механические свойства древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1».

Схема проведения эксперимента приведена на рисунке 5.1. Состав древесно-клеевой композиции приведен в таблице 5.1. Постоянные факторы и

управляемые параметры при проведении эксперимента представлены соответственно в таблицах 5.2 и 5.3.

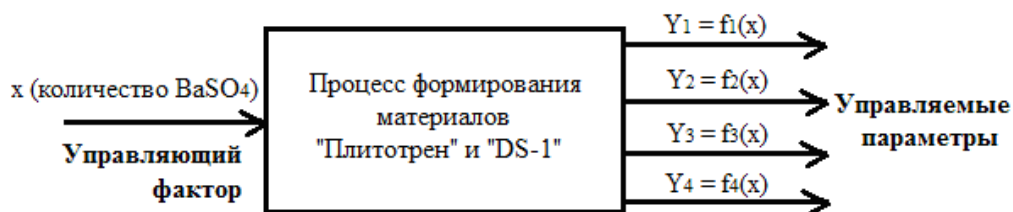


Рисунок 5.1 – Схема проведения эксперимента по определению влияния количества наполнителя на физико-механические свойства материалов

Таблица 5.1 – Состав древесно-клеевой композиции древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1»

№ п/п	Наименование компонента	Содержание компонентов в опытах, %				
		1	связующее	25	25	25
2	древесные частицы	75	65	55	45	35
3	минеральный наполнитель	0	10	20	30	40
Всего:		100				

Таблица 5.2 – Постоянные факторы в эксперименте

№п/п	Наименование фактора	Показатели для материала	
		«Плитотрен»	«DS-1»
1	температура плит пресса, °С	160 ± 5	
2	давление прессования, МПа	1,8±0,1	
3	толщина материала, мм	13 ± 0,1	16±0,1
4	влажность стружки, %	6±1	
5	время прессования, мин	6 ± 1	7± 1
6	расчетная плотность плиты, кг/м ³	950	1100
7	продолжительность технологической выдержки, ч	24	

Таблица 5.3 – Управляемые параметры в эксперименте

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Нормализованное обозначение
1	ударная вязкость, Дж/м ²	$A_{y\delta}$	\hat{y}_1
2	твёрдость по Бринеллю, МПа	HB	\hat{y}_2
3	разбухание по толщине, %	S	\hat{y}_3
4	предел прочности при статическом изгибе, МПа	$\sigma_{изг.}$	\hat{y}_4

5.2.2 Результаты эксперимента и его обработка

Экспериментальные данные, полученные по результатам проведения эксперимента по определению физико-механических свойств древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1» в зависимости от процентного содержания минерального наполнителя в древесно-клеевой композиции приведены в таблицах 5.4 – 5.7.

Таблица 5.4 – Экспериментальные данные по определению влияния содержания наполнителя на ударную вязкость материала

Содержание наполнителя, %	ударная вязкость в опытах, Дж/м ²					
	1	2	3	4	5	среднее значение
1	2	3	4	5	6	7
«Плитотрен»						
0	35256	42125	34897	39453	47124	39971
10	31671	27644	36153	34782	29356	31921
20	30345	41752	34384	29687	37699	34773
30	31942	28347	19698	32569	20455	27402
40	19690	27434	25342	32987	22659	25622

1	2	3	4	5	6	7
«DS-1»						
0	10168	23459	38991	25908	34285	26562
10	18337	11941	19874	22580	20753	18697
20	29272	15113	17738	21885	16657	20133
30	29240	22843	15212	19103	13534	19986
40	14888	27609	24311	26587	11524	20983

Таблица 5.5 – Экспериментальные данные по определению влияния содержания наполнителя на твердость материала

Содержание наполнителя, %	твёрдость по Бринеллю в опытах, МПа					
	1	2	3	4	5	среднее значение
«Плитотрен»						
0	50,81	55,62	53,77	49,36	55,71	53,05
10	32,72	34,58	45,21	48,42	40,37	40,26
20	48,25	52,45	57,78	44,21	46,42	49,82
30	63,32	68,98	60,54	59,45	62,25	62,91
40	48,89	52,32	45,21	50,58	53,45	50,09
«DS-1»						
0	65,13	58,45	56,27	60,35	71,49	62,34
10	47,12	43,23	50,51	45,49	46,18	46,5
20	56,78	55,11	59,14	62,72	60,77	58,9
30	75,99	73,48	71,96	75,31	80,43	75,43
40	67,64	58,45	66,12	59,97	60,15	62,47

Таблица 5.6 - Экспериментальные данные по определению влияния содержания наполнителя на разбухание по толщине материала

содержание наполнителя, %	разбухание по толщине плиты в опытах, %					
	1	2	3	4	5	среднее значение
«Плитотрен»						
0	24,81	22,54	21,47	25,84	25,55	24,042
10	18,45	19,54	20,31	18,54	18,01	18,97
20	20,45	21,36	17,45	18,94	17,07	19,054
30	16,48	12,08	14,55	16,84	15,83	15,156
40	12,43	14,54	15,02	11,44	10,85	12,856
«DS-1»						
0	14,47	25,01	24,42	25,98	21,15	22,2
10	14,69	21,52	19,94	23,61	18,46	19,64
20	15,03	16,77	15,15	17,06	14,83	15,77
30	13,33	7,95	12,77	11,30	8,54	10,78
40	5,51	9,38	17,99	7,29	5,73	9,18

Таблица 5.7 – Экспериментальные данные по определению влияния содержания наполнителя на предел прочности при статическом изгибе материала

содержание наполнителя, %	предел прочности при статическом изгибе в опытах, МПа					
	1	2	3	4	5	среднее значение
1	2	3	4	5	6	7
«Плитотрен»						
0	22,54	19,48	20,35	23,91	18,09	20,87
10	19,82	17,51	16,43	18,08	16,94	17,76
20	13,47	10,82	12,14	13,37	12,51	12,46
30	14,57	13,33	11,89	12,12	14,47	13,28
40	12,42	11,47	10,78	9,14	1,54	11,07

1	2	3	4	5	6	7
«DS-1»						
0	21,09	30,74	26,24	14,41	17,28	21,95
10	13,42	14,00	12,04	10,13	12,79	12,48
20	15,53	14,27	15,91	12,16	14,62	14,5
30	16,97	17,34	13,47	18,82	18,6	17,04
40	10,23	11,14	9,75	11,46	12,55	11,03

Проведенная статистическая обработка полученных экспериментальных данных позволила получить следующие математические модели:

- для материала «Плитотрен»:

$$\hat{y}_1^{(1)} = 38581 - 332,2x \quad (5.1)$$

$$\hat{y}_2^{(1)} = 47,9 + 0,167x, \quad (5.2)$$

$$\hat{y}_3^{(1)} = 33,17 - 0,35x, \quad (5.3)$$

$$\hat{y}_4^{(1)} = 19,9 - 0,24x, \quad (5.4)$$

- для материала «DS-1»:

$$\hat{y}_1^{(2)} = 23246 - 98,7x \quad (5.5)$$

$$\hat{y}_2^{(2)} = 55,3 + 0,291x, \quad (5.6)$$

$$\hat{y}_3^{(2)} = 22,5 - 0,35x, \quad (5.7)$$

$$\hat{y}_4^{(2)} = 17,8 - 0,23x. \quad (5.8)$$

Графические зависимости, построенные по вышеприведенным математическим моделям, приведены на рисунках 5.2 – 5.5.

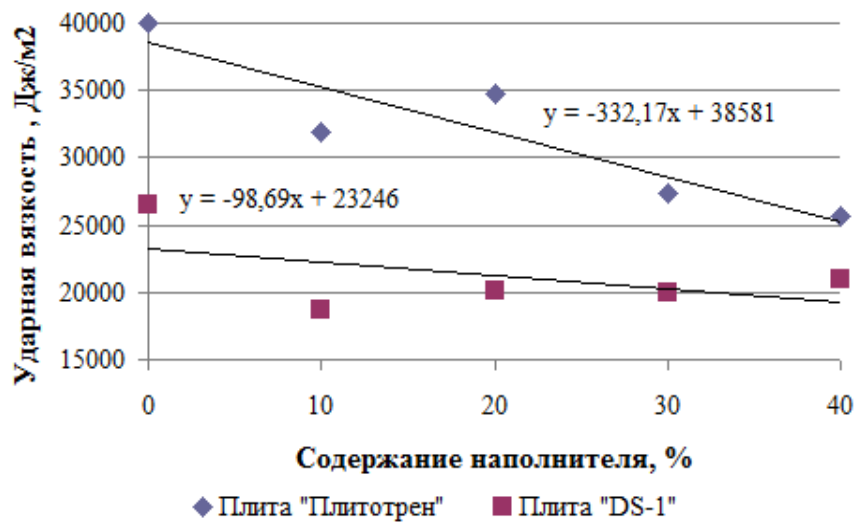


Рисунок 5.2 – Зависимость ударной вязкости материалов от содержания наполнителя

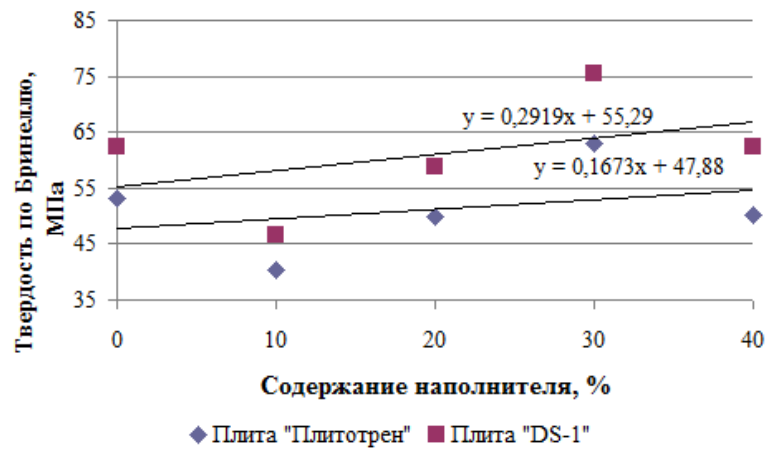


Рисунок 5.3 – Зависимость твердости по Бринеллю материалов от содержания наполнителя

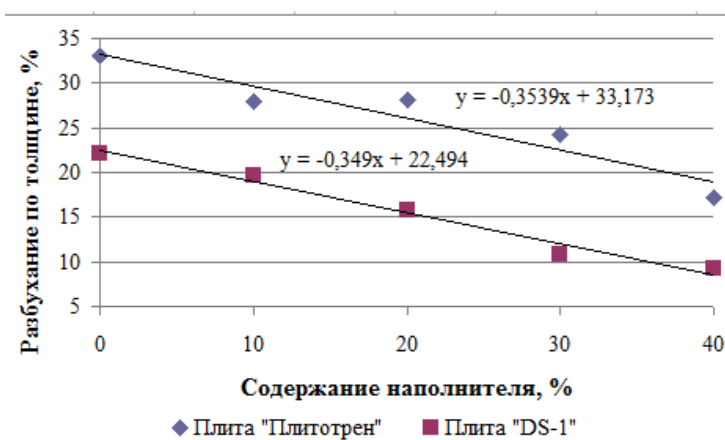


Рисунок 5.4 – Зависимость разбухания по толщине материалов от содержания наполнителя

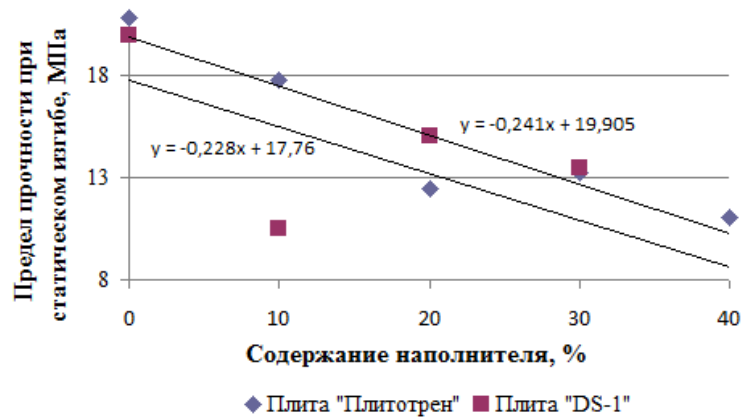


Рисунок 5.5 – Зависимость предела прочности при статическом изгибе материалов от содержания наполнителя

5.3 Оптимизация процесса формирования материалов «Плитотрен» и «DS-1»

5.3.1 Планирование эксперимента

В качестве основного эксперимента был реализован трехфакторный план типа B_3 , включающий 14 опытов. Постоянные факторы при проведении эксперимента приведены в таблице 5.8.

Схема проведения эксперимента приведена на рисунке 5.6. Управляющие параметры при проведении эксперимента по оптимизации процесса формирования материалов «Плитотрен» и «DS-1» приведены в таблице 5.8. Управляемые параметры в эксперименте приведены в таблице 5.9.

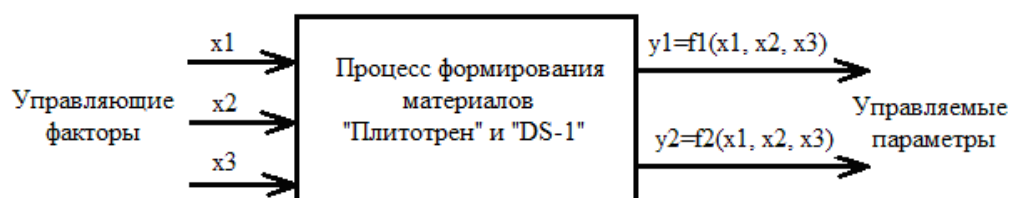


Рисунок 5.6 – Схема проведения эксперимента по оптимизации процесса формирования материалов «Плитотрен» и «DS-1»

Таблица 5.8 – Управляющие факторы в эксперименте по оптимизации процесса формирования материалов «Плитотрен» и «DS-1»

№ п/п	Наименование фактора	Обозначение	Единица измерения	Кодированное обозначение	Значения факторов на уровнях варьирования					
					нижний		основной		верхний	
					Натуральное	Кодированное	Натуральное	Кодированное	Натуральное	Кодированное
«Плитотрен»										
1	содержание наполнителя	$C_{нап.}^{(1)}$	%	$x_1^{(1)}$	20	-1	30	0	40	+1
2	содержание связующего	$C_{кл.}^{(1)}$	%	$x_2^{(1)}$	20	-1	25	0	30	+1
3	плотность материала	$\rho^{(1)}$	кг/м ³	$x_3^{(1)}$	850	-1	950	0	1050	+1
«DS-1»										
1	содержание наполнителя	$C_{нап.}^{(2)}$	%	$x_1^{(2)}$	20	-1	30	0	40	+1
2	содержание связующего	$C_{кл.}^{(2)}$	%	$x_2^{(2)}$	20	-1	25	0	30	+1
3	плотность материала	$\rho^{(2)}$	кг/м ³	$x_3^{(2)}$	1000	-1	1100	0	1200	+1

Таблица 5.9 – Наименование управляемых параметров в эксперименте

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Нормализованное обозначение
1	разбухание по толщине, %	S	\hat{y}_1
2	предел прочности при статическом изгибе, МПа	$\sigma_{изг.}$	\hat{y}_2

5.3.2 Результаты эксперимента и его обработка

Результаты проведения экспериментальных исследований и их статистическая обработка согласно [276, 277, 279 – 285] осуществлялась средствами *Microsoft Excel 2010* представлены в приложениях 14 и 15.

В результате были получены зависимости управляемых параметров от управляющих факторов в виде полиномов (уравнений регрессии) второго порядка. Каждый из полученных уравнений регрессии представляет собой математическую модель процесса формирования композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1» по конкретному управляемому параметру. Полученные математические модели использовались для оптимизации процесса формирования полученных древесных композиционных материалов.

В таблице 5.10 приведены средние значения результатов реализации эксперимента по плану B_3 для параметров для управляемых параметров \hat{y}_1 и \hat{y}_2 .

Таблица 5.10 – Результаты оптимизации процесса формирования материалов «Плитотрен» и «DS-1» по плану B_3

№ п/п	$x_1^{(1)}, x_1^{(2)}$	$x_2^{(1)}, x_2^{(2)}$	$x_3^{(1)}, x_3^{(2)}$	Плитотрен»		«DS-1»	
				$y_1^{(1)}$	$y_2^{(1)}$	$y_1^{(2)}$	$y_2^{(2)}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	+	+	7,9	12,2	9,02	11,2
2	-	+	+	10,8	18,99	15,3	14,6
3	+	-	+	8,4	10,92	9,4	9,9
4	-	-	+	14,6	13,1	17,2	12,7
5	+	+	-	7,7	11,48	8,99	10,9
6	-	+	-	11,8	14,17	15,7	14,5
7	+	-	-	8,7	5,4	10,2	8,2
8	-	-	-	12,2	10,2	16,1	9,5
9	+	0	0	8,4	11,8	9,18	11,0
10	-	0	0	11,5	11,77	15,5	14,5

1	2	3	4	5	6	7	8
11	0	+	0	9,1	16,08	10,5	14,3
12	0	-	0	10,3	9,44	11,9	9,1
13	0	0	+	8,7	15,07	10,3	14,1
14	0	0	-	9,3	14,22	10,9	13,8

5.3.3 Построение математических моделей

Построение математических моделей в виде функций отклика для выходных параметров \hat{y}_1 и \hat{y}_2 проводилось по методике, описанной в главе 3.

Статистический анализ полученных результатов подтвердил однородность дисперсии и значимость коэффициентов уравнений регрессии, которые имеют следующий вид:

а) для материала «Плитотрен»:

- в нормализованных обозначениях факторов:

$$\hat{y}_1^{(1)} = 9,2 + 1,97x_1 - 0,69x_2 + 0,08x_3 + 0,77x_1^2 + 0,52x_2^2 - 0,19x_3^2 + 0,31x_1x_2 - 0,19x_1x_3 - 0,36x_2x_3; \quad (5.9)$$

$$\hat{y}_2^{(1)} = 13,55 - 1,64x_1 + 2,39x_2 - 1,49x_3 - 1,75x_1^2 - 2,79x_2^2 + 0,4x_3^2 - 0,31x_1x_2 - 0,19x_1x_3 - 0,36x_2x_3. \quad (5.10)$$

- в натуральных обозначениях факторов:

$$S^{(1)} = -2 - 0,51C_{нап.} - 0,68C_{кл.} - 0,05\rho - 0,007C_{нап.}^2 + 0,02C_{кл.}^2 - 0,00002\rho^2 + 0,002C_{нап.}C_{кл.} - 0,00002C_{нап.}\rho - 0,0007C_{кл.}\rho; \quad (5.11)$$

$$\sigma_{изг.}^{(1)} = -78,3 - 4,96C_{нап.} + 8,31C_{кл.} - 0,07\rho - 0,07C_{нап.}^2 - 0,14C_{кл.}^2 + 0,00003\rho^2 + 0,002C_{нап.}C_{кл.} - 0,00002C_{нап.}\rho - 0,0007C_{кл.}\rho. \quad (5.12)$$

б) для материала «DS-1»:

- в нормализованных обозначениях факторов:

$$\hat{y}_1^{(2)} = 10,7 + 3,3x_1 - 0,53x_2 - 0,07x_3 + 1,64x_1^2 - 0,5x_2^2 - 0,1x_3^2 + 0,09x_1x_2 - 0,18x_1x_3 - 0,08x_2x_3; \quad (5.13)$$

$$\hat{y}_2^{(2)} = 13,5 - 1,46x_1 + 1,61x_2 + 0,56x_3 - 0,73x_1^2 - 1,78x_2^2 + 0,47x_3^2 - 0,36x_1x_2 + 0,16x_1x_3 + 0,56x_2x_3. \quad (5.14)$$

- в натуральных обозначениях факторов:

$$S^{(2)} = -24,5 - 0,5C_{нап.} + 1,02C_{кл.} + 0,03\rho + 0,016C_{нап.}^2 - 0,02C_{кл.}^2 - 0,00001\rho^2 + 0,002C_{нап.}C_{кл.} - 0,00002C_{нап.}\rho - 0,0002C_{кл.}\rho; \quad (5.15)$$

$$\sigma_{изг.}^{(2)} = -234,9 + 0,79C_{нап.} + 6,78C_{кл.} + 0,27\rho - 0,02C_{нап.}^2 - 0,1C_{кл.}^2 - 0,0001\rho^2 - 0,08C_{нап.}C_{кл.} + 0,00002C_{нап.}\rho - 0,001C_{кл.}\rho. \quad (5.16)$$

Графическая интерпретация полученных результатов приводится на рисунках 5.7 – 5.10.

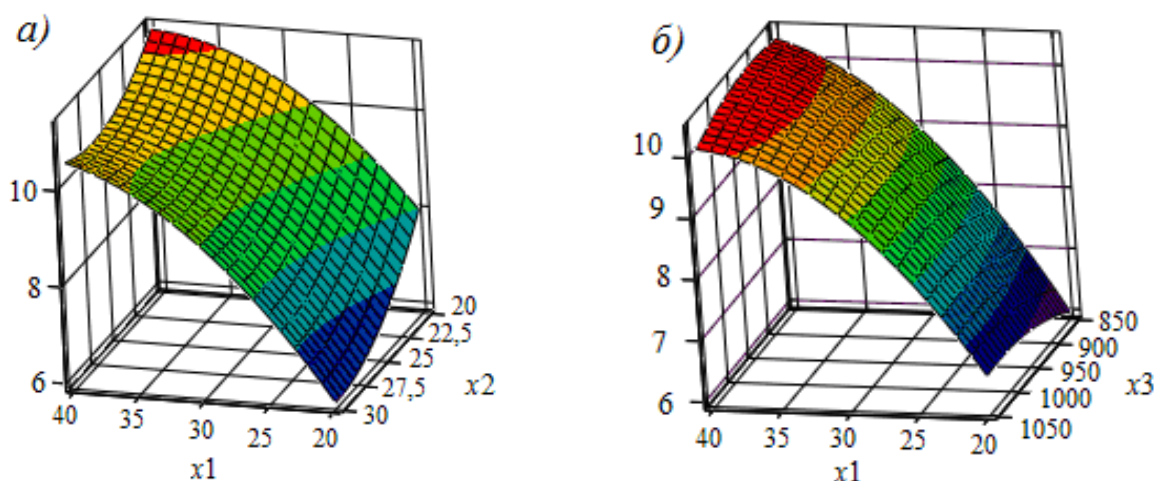


Рисунок 5.7 – Графическая интерпретация (выходной параметр – разбухание по толщине материала «Плитотрен»): x_1 – содержание наполнителя; x_2 – содержание клея; x_3 – плотность материала

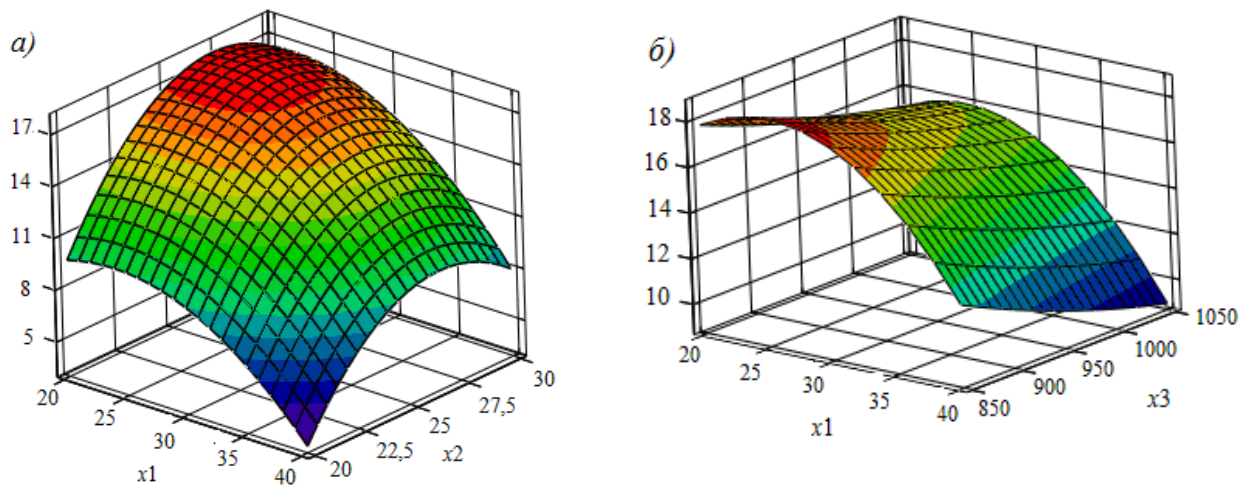


Рисунок 5.8 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при статическом изгибе материала «Плитотрен»): x_1 – содержание наполнителя; x_2 – содержание клея; x_3 – плотность материала

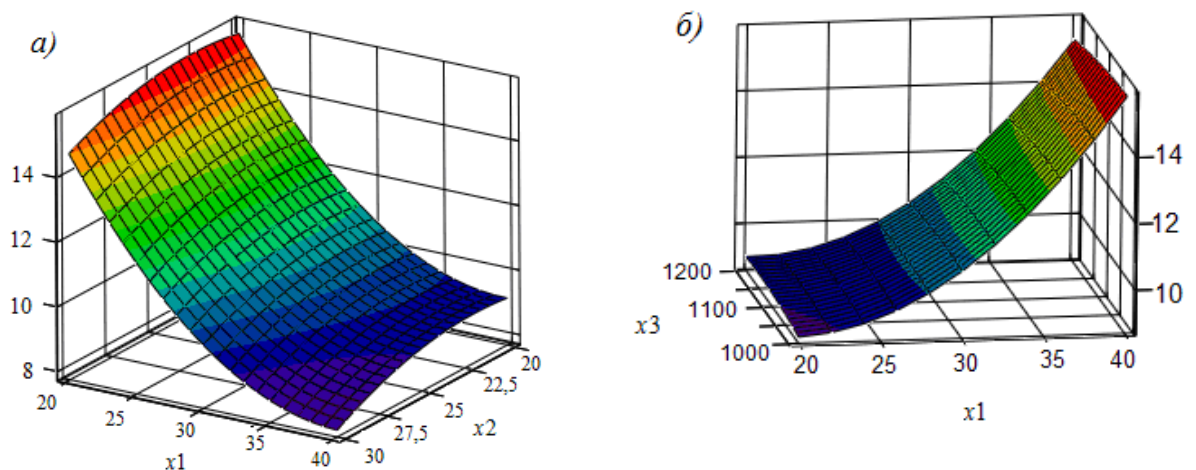


Рисунок 5.9 – Графическая интерпретация (выходной параметр – разбухание по толщине материала «DS-1»): x_1 – содержание наполнителя; x_2 – содержание клея; x_3 – плотность материала

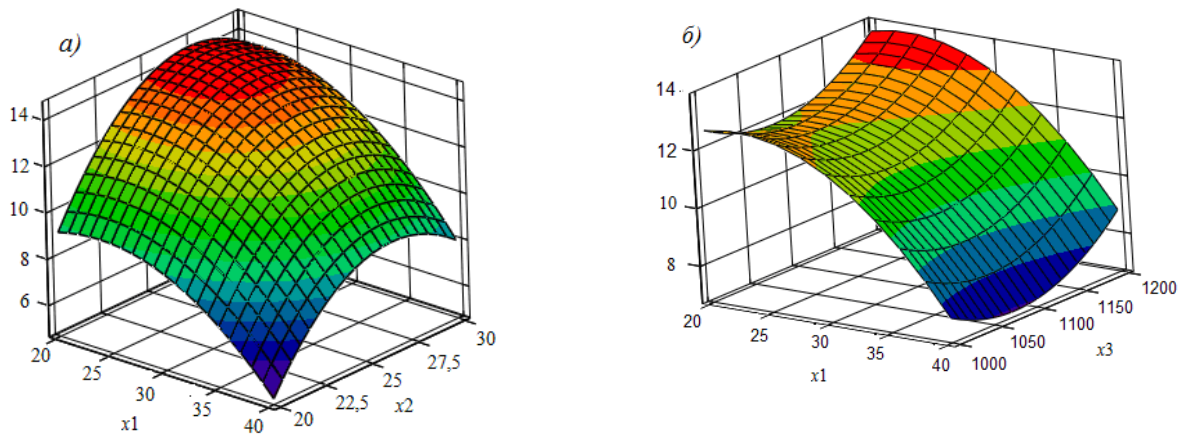


Рисунок 5.10 – Графическая интерпретация (выходной параметр – предел прочности при статическом изгибе материала «DS-1»): x_1 – содержание наполнителя; x_2 – содержание клея; x_3 – плотность материала

5.3.4 Решение задачи оптимизации

Согласно соображениям, вышесказанным в п. 5.3.3 оптимизационную модель формируем в следующем виде:

- для материала «Плитотрен» целевая функция имеет вид:

$$W^{(1)} = 13,55 - 1,64x_1 + 2,39x_2 - 1,49x_3 - 1,75x_1^2 - 2,79x_2^2 + 0,4x_3^2 - 0,31x_1x_2 - 0,19x_1x_3 - 0,36x_2x_3 \rightarrow \max \quad (5.17)$$

при ограничениях:

$$9,2 + 1,97x_1 - 0,69x_2 + 0,08x_3 + 0,77x_1^2 + 0,52x_2^2 - 0,19x_3^2 + 0,31x_1x_2 - 0,19x_1x_3 - 0,36x_2x_3 \leq 10 \quad (5.18)$$

$$-1 \leq x_1 \leq 1 \quad (5.19)$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1 \quad (5.20)$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1 \quad (5.21)$$

- для материала «DS-1» целевая функция имеет вид:

$$W^{(2)} = 13,5 - 1,46x_1 + 1,61x_2 + 0,56x_3 - 0,73x_1^2 - 1,78x_2^2 + 0,47x_3^2 - 0,36x_1x_2 + 0,16x_1x_3 + 0,56x_2x_3 \rightarrow \max \quad (5.22)$$

при ограничениях:

$$10,7 + 3,3x_1 - 0,53x_2 - 0,07x_3 + 1,64x_1^2 - 0,5x_2^2 - 0,1x_3^2 + 0,09x_1x_2 - 0,18x_1x_3 - 0,08x_2x_3 \leq 10; \quad (5.23)$$

$$-1 \leq x_1 \leq 1 \quad (5.24)$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1 \quad (5.25)$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1 \quad (5.26)$$

Для решения вышеприведенных оптимизационных моделей использовалась технология оптимизации *Microsoft Excel 2010* встроенной надстройки «Поиск решения». Оптимизация осуществлялась с применением метода обобщенного приведенного градиента (ОПГ). Результаты решения задачи оптимизации приведены на рисунках 5.11 – 5.12.

R32													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	Коэффициенты уравнения регрессии												
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности		
3	13,55	-1,64	2,39	-1,49	-1,75	-2,79	0,4	-0,31	-0,19	-0,36	при статич. изгибе		
4	Переменные										плиты		
5	x1	x2	x3								"Плитотрен", МПа		
6	0,281	0	-1								15,22		
7	Система ограничений												
8	1	0	0	0,281	1								
9	1	0	0	0,281	-1								
10	0	1	0	0,288	1								
11	0	1	0	0	-1								
12	0	0	1	-1	1								
13	0	0	1	-1	-1								
14	9,2	1,97	-0,69	0,08	-0,77	0,52	-0,19	0,31	-0,19	-0,36	9,45	10	
15													

Рисунок 5.11 – Решение задачи оптимизации определения максимума предела прочности при статическом изгибе для материала «Плитотрен»

N11													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	Коэффициенты уравнения регрессии												
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	Предел прочности		
3	13,48	-1,46	1,61	0,56	-0,73	-1,78	-0,47	-0,36	0,84	0,56	при статическом		
4	Переменные										изгибе плиты "DS-1",		
5	x1	x2	x3								МПа		
6	-0,763	0,511	-1								13,49		
7	Система ограничений												
8	1	0	0	-0,763	1								
9	1	0	0	-0,763	-1								
10	0	1	0	0,511	1								
11	0	1	0	0,511	-1								
12	0	0	1	-1	1								
13	0	0	1	-1	-1								
14	10,7	3,3	-0,53	-0,07	1,64	-0,05	-0,1	0,09	-0,18	-0,08	8,69	10	
15													

Рисунок 5.12 – Решение задачи оптимизации определения максимума предела прочности при статическом изгибе для материала «DS-1»

Оптимальные значения управляющих факторов составляют:

- для материала «Плитотрен»:

$$x^{(1)*} = \begin{vmatrix} -0,28 \\ 1 \\ -1 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 27,2\% \\ 30\% \\ 850\text{кг}/\text{м}^3 \end{vmatrix} \quad (5.27)$$

Ожидаемые значения управляемых параметров составят:

а) разбухание по толщине материала: $y_1^{(1)*} = 9,5 \%$;

б) предел прочности при статическом изгибе: $y_2^{(1)*} = 15,2 \text{ МПа}$;

- для материала «DS-1»:

$$x^{(2)*} = \begin{vmatrix} -0,763 \\ 0,511 \\ -1 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 22,4\% \\ 27,6\% \\ 1000\text{кг}/\text{м}^3 \end{vmatrix} \quad (5.28)$$

Ожидаемые значения управляемых параметров составят:

а) разбухание по толщине материала: $y_1^{(2)*} = 8,7 \%$;

б) предел прочности при статическом изгибе: $y_2^{(2)*} = 13,5 \text{ МПа}$;

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

5.4 Исследование влияния количества компонентов древесно-клеевой композиции на рентгенозащитные свойства материалов

5.4.1 Постановка эксперимента

Защитные свойства материалов оценивались величиной свинцового эквивалента. Основное влияние на величину среднего значения свинцового эквивалента оказывает количество минерального наполнителя в древесно-

клеевой композиции. С повышением его количества происходит увеличение среднего значения свинцового эквивалента разработанных материалов.

Подробная методика проведения эксперимента описана в главе 3. Значения постоянных и управляющих факторов при проведении эксперимента представлены соответственно в таблицах 5.11 и 5.12.

Таблица 5.11 – Постоянные факторы в эксперименте

№п/п	Наименование	Значение
1	температура окружающей среды, °С	20±2
2	относительная влажность воздуха, %	65±5
3	размеры образца, мм	
	- длина	50±1
	- ширина	50±1
4	режим экспозиции:	20±2
	- время, с	0,06
	- сила тока, мА	40

Таблица 5.12 – Управляющие факторы при проведении эксперимента

№п/п	Наименование	Значение
1	образец испытываемого материала толщиной, мм:	
	- свинец	1,05
	- свинец	0,75
	- просвинцованная резина	5
	- «Плитотрен» с содержанием наполнителя 20, 30 и 40%	13±0,1
	- «DS-1» содержанием наполнителя 20, 30 и 40%	16±0,1
2	напряжение на трубке, кэВ	40
		60
		75

5.4.2 Результаты эксперимента и его анализ

Результаты экспериментов по определению величины среднего значения свинцового эквивалента представлены в таблице 5.13. Графические зависимости изменения рентгенозащитных свойств материалов в зависимости от режимов экспозиции приведены на рисунке 5.13.

Таблица 5.13 – Экспериментальные данные по определению рентгенозащитных свойств разработанных материалов

Наименование материала	Величина свинцового эквивалента, мм/Pb мм при режиме экспозиции:		
	40кэВ, 40мА, 0,06с	60кэВ, 40мА, 0,06с	75кэВ, 40мА, 0,06с
Свинец толщиной 1,05 мм	1,05	1,05	1,05
Свинец толщиной 0,75 мм	1,03	0,94	1,02
Просвинцованная резина	1	1	1,07
«Плитотрен» (наполнителя 20%)	0,14	0,09	0,004
«Плитотрен» (наполнителя 30%)	0,81	0,6	0,27
«Плитотрен» (наполнителя 40%)	0,92	0,67	0,34
«DS-1» (наполнителя 20%)	0,18	0,11	0,008
«DS-1» (наполнителя 30%)	0,9	0,67	0,3
«DS-1» (наполнителя 40%)	0,95	0,73	0,45

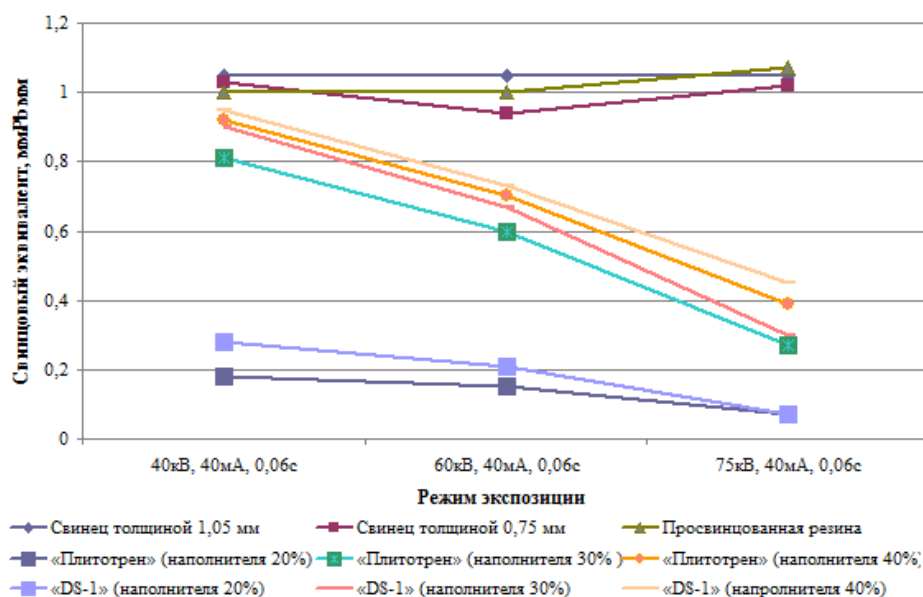


Рисунок 5.13 – Рентгенозащитные свойства материалов в зависимости от режима экспозиции

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение количества минерального наполнителя в древесно – клеевой композиции повышает рентгенозащитные свойства разработанных материалов.
2. При содержании минерального наполнителя в древесно – клеевой композиции в пределах от 20 до 30 % наблюдается интенсивное ослабление рентгеновского излучения разработанными материалами. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя в композиции не приводит к существенному увеличению их рентгенозащитных свойств. Поэтому учитывая влияние наполнителя на физико-механические свойства материалов рекомендуется его вводить в древесно – клеевую композицию в пределах от 28 до 30 %.

5.5 Исследование токсичности материалов

Согласно [270] количество свободного формальдегида, выделяющегося из материалов «Плитотрен» и «DS-1» определялось перфораторным йодо-

метрическим методом. Подробно методика проведения эксперимента описана в главе 3.

Для эксперимента отбиралось по 6 образцов каждого материала. Количество связующего: карбамидоформальдегидного клея в образцах материала «Плитотрен» и порошкового связующего в образцах материала «DS-1» составляло 25 %. По результатам проведенного эксперимента получается, что средняя величина содержания свободного формальдегида для материала «Плитотрен» составляет 8,73 мг/100 г., а для материала «DS-1» - 3,86 мг/100 г.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что по содержанию свободного формальдегида материал «Плитотрен» имеет класс эмиссии E 1, а материал «DS-1» – E 0,5.

5.6 Исследование макроструктуры материалов

Предполагаемая модель внутренней структуры древесных материалов «Плитотрен» и «DS-1» изображена на рисунке 5.14.

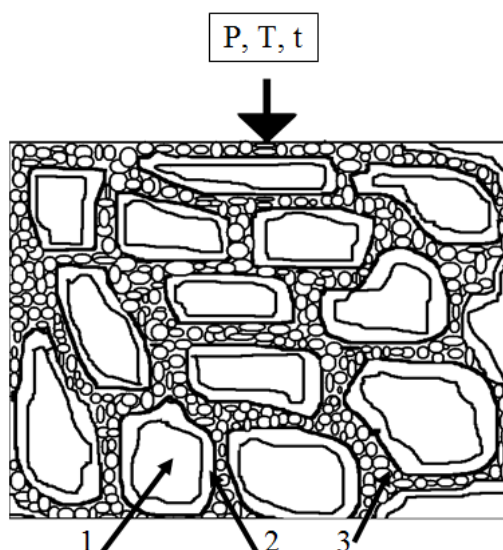


Рисунок 5.14 – Модель внутренней структуры древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1»: 1 – древесные частицы; 2 – минеральный наполнитель; 3 – связующее

Микросъемка компонентов древесно–клеевой композиции и древесных композиционных материалов проводилась в специализированной лаборатории на электронном микроскопе JSM-6390 фирмы JEOL (Япония). Полученные микроснимки приведены на рисунках 5.15 – 5.20

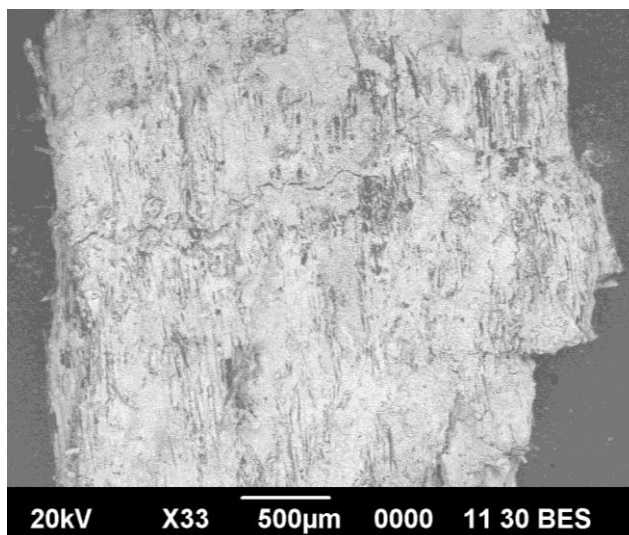


Рисунок 5.15 – Микросъемка древесно-клеевой композиции материала «Плитотрен» (увеличение $\times 33$)

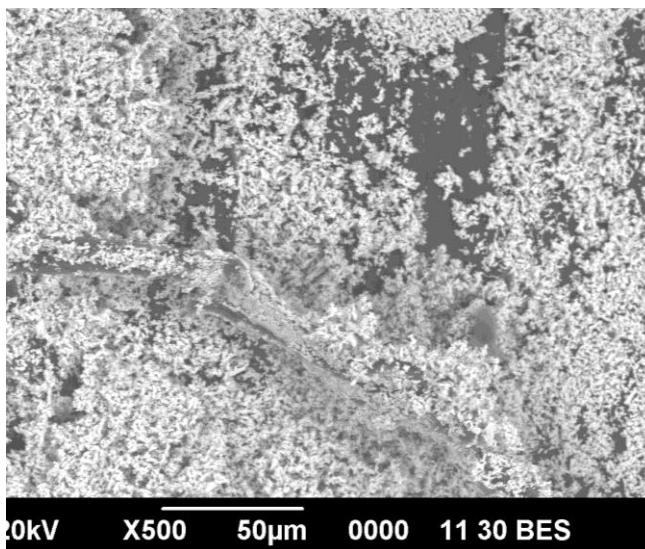


Рисунок 5.16 – Микросъемка древесно-клеевой композиции материала «Плитотрен» (увеличение $\times 500$)

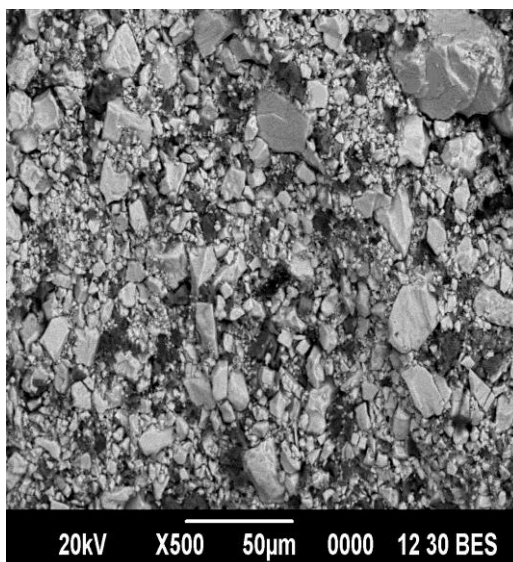


Рисунок 5.17 – Структура материала «Плитотрен»
(увеличение ×500)

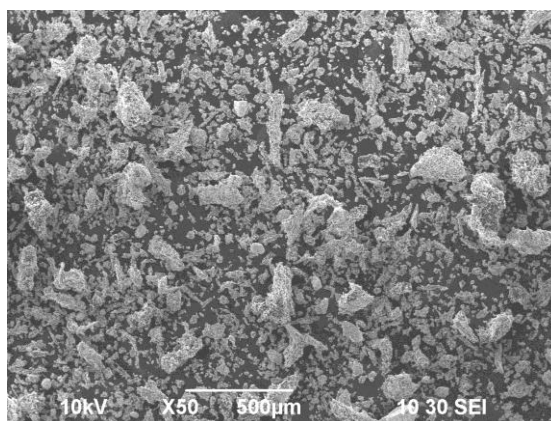


Рисунок 5.18 – Микросъемка измельченной материала «DS-1»
(увеличение ×50)

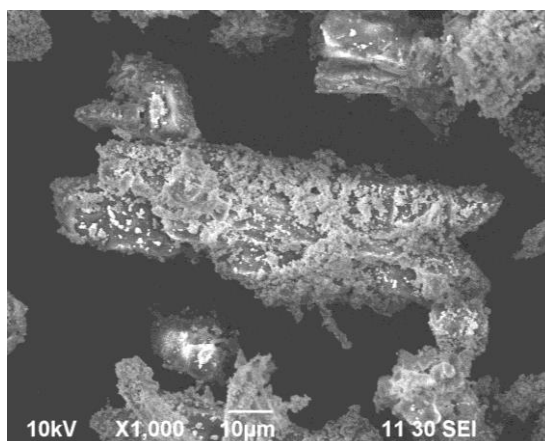


Рисунок 5.19 – Микросъемка измельченной материала «DS-1»
(увеличение ×1000)

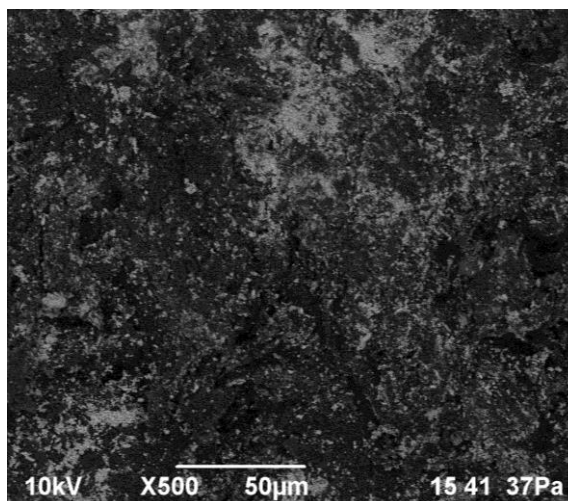


Рисунок 5.20 – Структура материала «DS-1»

Анализируя полученные фотографии, можно сделать следующие выводы:

1. На представленных снимках достаточно хорошо различимы древесные частицы и частицы наполнителя (сульфата бария). Достаточно четко видно, что связующее обволакивает древесные частицы и фиксирует на них равномерно распределенные частицы наполнителя.

2. Равномерность распределения наполнителя (сульфата бария) зависит от его количества в древесно-клеевой композиции и от размера древесных частиц. Более мелкие древесные частицы, используемые для изготовления плит, позволяют равномернее распределиться частицам наполнителя по материалам. Это, в свою очередь, повышает их рентгенозащитные свойства.

3. Представленная модель внутренней структуры плитных материалов достаточно точно показывает реальную картину распределения компонентов древесно-клеевой композиции в готовых материалах «Плитотрен» и «DS-1».

5.7 Выводы по главе

1. Увеличение содержания минерального наполнителя (сульфата бария) в древесно-клеевой композиции повышает водостойкость древесных композиционных материалов. Так повышение содержания наполнителя до 40 %

снижает разбухание по толщине по сравнению с его нулевым содержанием в 1,8 раза для материала «Плитотрен» и в 2,4 раза для материала «DS-1».

2. Прочностные характеристики древесных композиционных материалов при увеличении содержания минерального наполнителя падают. Так, предел прочности при статическом изгибе существенно уменьшается (более чем в 2 раза), что можно объяснить ухудшением адгезии между расплавленным адгезивом и субстратом за счет присутствия микрочастиц наполнителя.

3. Зависимости ударной вязкости и твердости по Бринеллю от количества минерального наполнителя в древесно-клеевой композиции установить не удалось, т.к. большой разброс полученных результатов, как по опытам, так и по повторениям одного опыта не позволяет дать однозначного заключения.

4. Древесно – клеевая композиция материала «Плитотрен» должна содержать 30% связующего, 27% - наполнителя (сульфата бария), при этом плотность плиты будет составлять 850 кг/м^3 ; для материала «DS-1» - содержание связующего – 27%, наполнителя 22%, а плотность плиты – 1000 кг/м^3 .

5. Ожидаемые физико – механические свойства материала «Плитотрен»: разбухание по толщине – 9,5 %, предел прочности при статическом изгибе – 15,2 МПа; соответственно для материала «DS-1» - 8,7 % и 13,5 МПа.

6. Увеличение количества минерального наполнителя в древесно – клеевой композиции повышает рентгенозащитные свойства разработанных материалов.

7. При содержании минерального наполнителя в древесно – клеевой композиции в пределах от 20 до 30 % наблюдается интенсивное ослабление рентгеновского излучения разработанными материалами. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя в композиции не приводит к существенному увеличению их рентгенозащитных свойств. Поэтому учитывая влияние наполнителя на физико-механические свойства материалов рекомендуется его вводить в древесно – клеевую композицию в пределах от 28 до 30 %.

8. Равномерность распределения наполнителя (сульфата бария) зависит от его количества в древесно-клеевой композиции и от размера древесных частиц. Более мелкие древесные частицы, используемые для изготовления плит, позволяют равномернее распределиться частицам наполнителя по материалам. Это, в свою очередь, повышает их рентгенозащитные свойства.

9. По содержанию свободного формальдегида материал «Плитотрен» имеет класс эмиссии E 1, а материал «DS-1» – E 0,5.

6 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

6.1 Технологические особенности производства предлагаемых материалов

Технологические схемы получения разработанных древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами приведены на рисунках 6.1 и 6.2.

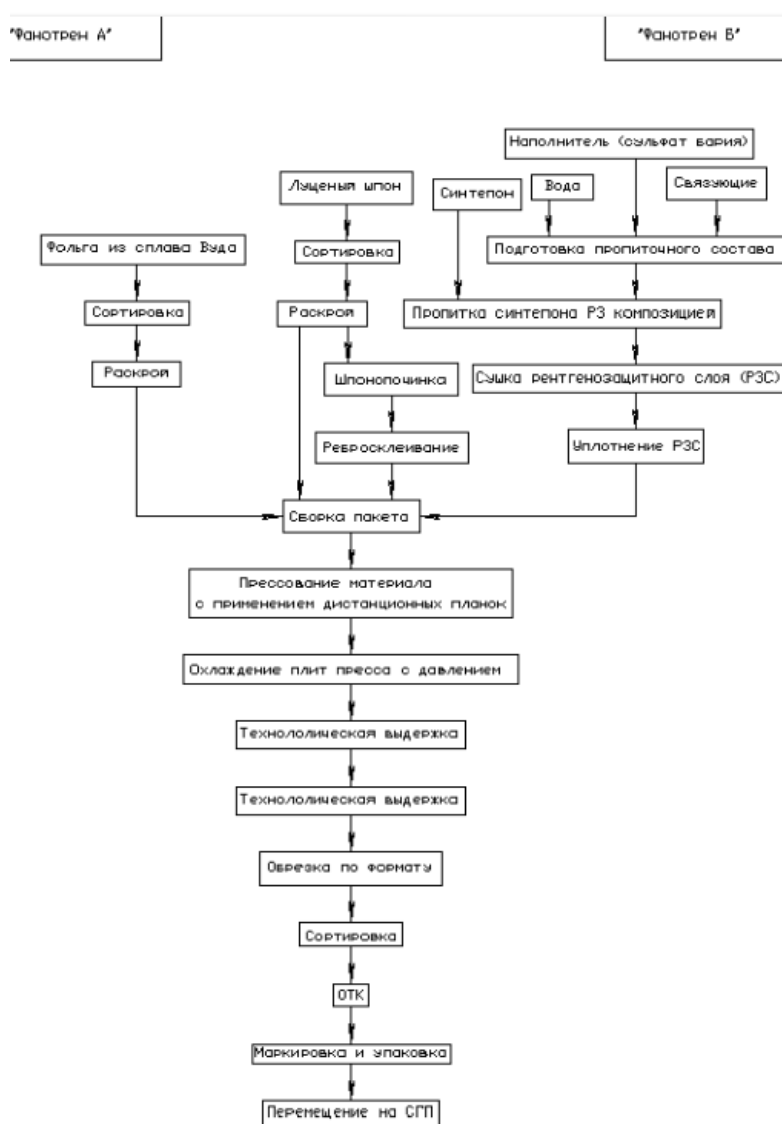


Рисунок 6.1 – Технологическая схема процесса получения древесных композиционных материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б»

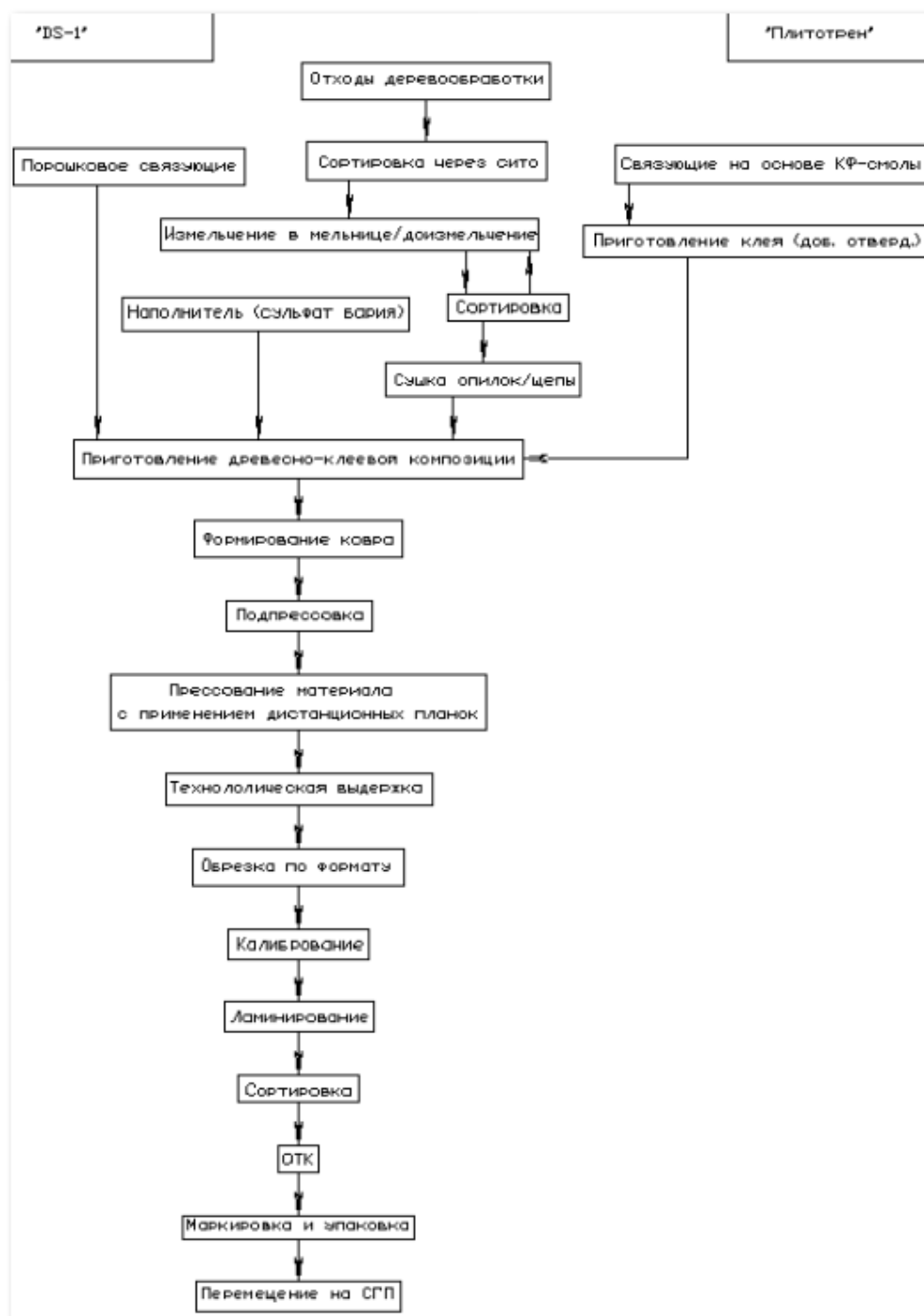


Рисунок 6.2 – Технологическая схема процесса получения древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1»

6.2 Расчет экономических показателей производства разработанных материалов

Расчет стоимости основного оборудования для производства древесных композиционных материалов представлен в таблицах 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1 – Расчет стоимости основного оборудования для производства древесных композиционных материалов «Фанотрен А» и «Фанотрен Б»

Наименование/ марка	Цена за единицу, тыс.руб	«Фанотрен А»		«Фанотрен Б»	
		Кол-во единиц, шт	Стоимость, тыс. руб	Кол-во единиц, шт	Стоимость, тыс. руб
1	2	3	4	5	6
ножинцы гильотинные, СК-1	300	1	300	1	300
станок шпонопочиночный, ПШ-2А	250	1	250	1	250
станок ребросклеивающий, РС-9А	220	1	220	1	220
диссоolver-смеситель, ЮВС	80	-	-	1	80
установка пропиточная, н/о	50	-	-	1	50
камера сушильная, н/о	600	-	-	1	600
этажерка	11,5	-	-	8	92
пресс горячий гидравлический пресс, ЛПД 4941	5000	1	5000	1	5000
станок форматно-обрезной, Altendorf 90	900	2	1800	2	1800
станок калибровальный, «BSG 2613D»	700	1	700	1	700
станок шлифовальный, RSG 2813	700	1	700	1	700
система вентиляционная, PPRU-50000	600	1	600	1	600

1	2	3	4	5	
линия ламинирования, LUAS-SA6	3000	1	3000	1	3000
Итого:		-	12570	-	13392
стоимость здания теплого исполнения 78×18 м ²	4,2	5896,8			

Таблица 6.2 – Расчет стоимости основного оборудования для производства древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1»

Наименование /марка	Цена за единицу, тыс. руб.	Кол-во единиц, шт	Стоимость, тыс. руб
1	2	3	4
молотковая дробилка, ДМ-30	1	250	250
двухкузовной сепаратор, н/о	2	100	200
молотковая мельница, SFSP	1	300	300
сушилка барабанная, Hgj	1	950	950
бункер для хранения, БМ-10	1	100	100
смеситель с дозатором, LU6000	1	300	300
транспортёр	3	100	300
машина формирующая роликового типа, ВНРЗJ-III	1	500	500
пресс холодный периодического действия проходного типа, ПР-5	1	450	450
пресс горячий пресс периодического прессования проходного типа, ПР-6	1	1500	1500
веерный охладитель, LULCY 360	1	200	200
станок форматно-обрезной, Altendorf 90	1	1500	1500

Окончание таблицы 6.1

1	2	3	4
станок калибровальный, BSG 2613D	1	700	700
станок шлифовальный, RSG 2813	1	700	700
станок форматно-обрезной, Altendorf 45	1	900	900
система вентиляционная, PPRU-50000	1	600	600
линия ламинирования, LUAS-SA6	1	3000	3000
Итого:	11555		
стоимость здания теплого исполнения 84×48 м ²	4,2	16934,4	

Расчет стоимости сырья и материалов для производства древесных композиционных материалов на годовую программу 10000 м³ представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Расчет стоимости материальных затрат для производства древесных композиционных материалов

Наименование материала	Единица измерения	Цена, руб	Кол-во на 1 м ³	Кол-во на программу	Стоимость 1 м ³ , руб	Стоимость на программу, тыс.руб.
материал «Фанотрен А»						
шпон березовый луценный	м ³	18000	1,125	11250	20250	202500
сплава Вуда	кг	2000	1450	145000000	2900000	29000000
Итого:					2920250	29202500
Транспортно-заготовительные работы (5% от стоимости сырья и материалов)					145000	1450000
Итого с учетом транспортно-заготовительных работ:					3065250	30652500
материал «Фанотрен Б»						
шпон березовый луценный	м ³	18000	1,125	11250	20250	202500
синтепон	м ²	35	210	2100000	7350	73500

Наименование материала	Единица измерения	Цена, руб	Кол-во на 1 м ³	Кол-во на программу	Стоимость 1 м ³ , руб	Стоимость на программу, тыс.руб.
минеральный наполнитель	кг	110	525	5250000	57750	577500
вода дистиллированная	л	2,2	231	2310000	5082	50820
клей ПВА	кг	150	367,5	3675000	55125	551250
Итого:					133812	1338120
Транспортно-заготовительные работы (5% от стоимости сырья и материалов)					6690,6	66906
Итого с учетом ТЗР:					1405002,6	1405026
материал «Плитотрен»						
древесные частицы	кг	10	363,8	3638000	3638	36380
КФЖ - смола	кг	30	228,65	2286500	6859,5	68595
хлористый аммоний	кг	200	2,55	25500	510	5100
минеральный наполнитель	кг	110	255	2550000	28050	280500
Итого:					35783,3	35783
Транспортно-заготовительные работы (5% от стоимости сырья и материалов)					1789,2	17892
Итого с учетом ТЗР:					37572,5	375725
материал «DS-1»						
древесные частицы	кг	10	500	5000000	5000	50000
порошковое связующее	кг	275	224	2240000	61600	616000
минеральный наполнитель	кг	110	276	2760000	30360	303600
Итого:					96960	969600
Транспортно-заготовительные работы (5% от стоимости сырья и материалов)					4848	48480
Итого с учетом ТЗР:					101808	1018080

Расчет стоимости всего комплекта оборудования с учетом его доставки, монтажа, а также затрат на инструмент и производственный инвентарь представлен в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расчет стоимости комплекта оборудования, затрат на инструмент и инвентарь

Статья затрат	Стоимость, тыс. руб.		
	«Фанотрен А»	«Фанотрен Б»	«Плитотрен» и «DS-1»
оборудование основное	12570	13392	11550
оборудование вспомогательное	879,9	937,4	808,5
<i>итого комплект оборудования:</i>	13449,9	14329,4	12358,5
доставка комплекта (15% от стоимости комплекта)	2017,5	2149,4	1853,8
монтаж оборудования основного и вспомогательного (7% от стоимости комплекта)	941,5	1003,1	865,1
инструмент и производственный инвентарь (1,5% от стоимости комплекта)	201,7	214,9	185,4
Итого:	16610,6	17696,8	15262,8

Расчет стоимости электрической энергии, воды на хозяйственно-питьевые нужды технологические нужды и отопление представлен соответственно в таблицах 6.5 – 6.7.

Таблица 6.5 – Расчет стоимости электрической энергии

Потребитель	Норматив, кВт	Наименование продукции	Потребное кол-во, кВт	Стоимость 1 кВт, руб.	Стоимость на программу, тыс.руб.
освещение	45	«Фанотрен А», «Фанотрен Б»	265356	4,67	1239,2
		«Плитотрен», «DS-1»	762048		3558,8
силовая сеть	140	вся	1400000		6538
Итого:					
- «Фанотрен А», «Фанотрен Б»					7777,2
- «Плитотрен», «DS-1»					10096,8

Таблица 6.6 – Расчет стоимости воды хозяйственно-питьевые нужды

Потребитель	Норматив, м ³	Потребное кол-во, м ³	Стоимость 1 м ³ , руб.	Стоимость на программу, тыс.руб
хозяйственные нужды	0,18	1800	38	68400
бытовые нужды	27	270		10260
Итого:				78660

Таблица 6.7 – Расчет стоимости тепла на технологические нужды о отопление

Потребитель	Норматив, Гкал	Наименование продукции	Потребное кол-во, Гкал	Стоимость 1 Гкал, руб.	Стоимость на программу, тыс.руб
технологические нужды	0,5	вся	5000		2526,5
отопление	1,34	«Фанотрен А», «Фанотрен Б»	1188	1010,58	1608,8
		«Плитотрен», «DS-1»	4032		5460
Итого:					
- «Фанотрен А», «Фанотрен Б»					4135,3
- «Плитотрен», «DS-1»					7986,5

Расчет материальных затрат на производство древесных композиционных материалов приведен в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Расчет материальных затраты на производство древесных композиционных материалов

Статья затрат	Стоимость, тыс. руб.			
	«Фанотрен А»	«Фанотрен Б»	«Плитотрен»	«DS-1»
сырье и материалы (с учетом ТЗР)	30652500	1405026	375725	1018080
электрическая энергия	7777,2		10096,8	
вода на хозяйственно-питьевые нужды	78660			
тепло на технологические нужды и отопление	4135,3		7986,5	
Итого:	30743072,5	1495598,5	472468,3	1114823,3

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных фондов	Норматив, %	Наименование продукции	Балансовая стоимость, тыс. руб.	Амортизационные отчисления, тыс. руб.
здания и сооружения	5	«Фанотрен А», «Фанотрен Б»	5896,8	294,84
		«Плитотрен», «DS-1»	16934,4	846,72
оборудование	15	«Фанотрен А»	12570	1885,5
		«Фанотрен Б»	13392	2008,8
		«Плитотрен», «DS-1»	11550	1732,5
инструмент и инвентарь (1,5% от стоимости оборудования)	100	«Фанотрен А»	188,6	188,6
		«Фанотрен Б»	200,9	200,9
		«Плитотрен», «DS-1»	173,3	173,3
Итого:				
- «Фанотрен А»				2368,9
- «Фанотрен Б»				2504,5
- «Плитотрен», «DS-1»				2752,5

Годовой фонд оплаты труда с учетом 218 рабочих дней в году и численность рабочих на предприятии - 10 человек составляет 3600000 руб.

Смета затрат на производство древесных композиционных материалов приведена в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Смета затрат на производство древесных композиционных материалов

Статья затрат	Стоимость, тыс. руб.			
	«Фанотрен А»	«Фанотрен Б»	«Плитотрен»	«DS-1»
материальные затраты	30743072,5	1495598,5	472468,3	1114823,3
фонд оплаты труда	3600			
отчисления на социальные нужды (30% от ФОТ)	1080			
амортизационные отчисления	2368,9	2504,5	2752,5	
прочие расходы (10% от суммы вышеприведенных затрат)	3075012,1	150273,04	47990,08	112225,6
Итого:	33825133,6	1653061,3	527890,9	1234481,4

Расчет себестоимости древесных композиционных материалов и себестоимости единицы кубического метра материала представлен в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Расчет себестоимости древесных композиционных материалов

Показатель	Затраты, тыс. руб.			
	«Фанотрен А»	«Фанотрен Б»	«Плитотрен»	«DS-1»
1	2	3	4	5
производственные затраты	33825133,6	1653061,3	527890,9	1234481,4
общехозяйственные расходы (15% от затрат на производство)	5073770	247959,2	79183,6	18517,2

1	2	3	4	5
коммерческие расходы (5% от суммы вышеперечисленных пунктов)	1944945,2	95051	30353,7	62649,93
себестоимость товарной продукции	40843848,8	1996071,5	637428,2	1315648,5
себестоимость 1м ³ материала	4084,4	199,6	63,7	131,6

Расчет прибыли от реализации полученной продукции приведен в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Расчет прибыли от реализации продукции

Показатель	Затраты, тыс. руб.			
	«Фанотрен А»	«Фанотрен Б»	«Плитотрен»	«DS-1»
стоимость товарной продукции	47000000	240000	75000	1600000
стоимость 1 м ² товарной продукции	18800	1600	577	2560
себестоимость 1м ³ товарной продукции	4084400	199600	63700	131600
прибыль от реализации продукции	616000	40400	11300	28400
налог на прибыль (20%)	1231200	8080	2260	5680
чистая прибыль	4924800	32320	9040	54720
рентабельность продукции, %	12,1	16,2	14,2	17,3
срок окупаемости проекта	менее года			

6.3 Сравнительный анализ разработанных материалов по комплексу свойств

Для решения задачи выбора наилучшего древесного композиционного материала по комплексу свойств можно методом расстановки приоритетов [304, 305]. Для этого проводится попарное качественное сравнение конкурирующих объектов и переход их на количественные оценки при использовании конкретных значений показателей свойств конкурентов, а при их отсутствии – экспертных оценок.

Сравнение осуществляется с использованием матриц, что позволяет при соответствующей математической обработке получить количественные значения приоритетов материалов по каждому свойству и по комплексу показателей.

Наименование древесных композиционных материалов и свойства, по которым будут производиться сравнительный анализ материалов приведен в таблице 6.13.

Таблица 6.13 – Параметры конкурирующих древесных композиционных материалов

№ п/п	Наименование показателя	Наименование материала				Приоритет показате- ля
		1	2	3	4	
		«Фано- трен А»	«Фано- трен Б»	«Плито- трен» (напол- нитель 30%)	«DS-1» (напол- нитель 30%)	
1.	свинцовый эквива- лент, мм/Pbмм (ре- жим: 60кэВ, 40мА, 0,06с)	0,78	0,56	0,39	0,47	0,3
2.	стоимость, руб/м ²	18800	1600	577	2560	0,4
3.	трудоемкость изго- товления, балл	3	4	2	1	0,2
4.	токсичность, балл	3	1	2	1	0,1

Построим матрицы бинарных отношений для сравниваемых материалов по каждому свойству. В этих таблицах (а также далее) материала согласно их номеру (1, 2, 3, 4) обозначены соответственно X_1, X_2, X_3, X_4 .

Сравнительный анализ конкурирующих древесных композиционных материалов выполнен в виде матриц, приведенных в таблицах 6.15 – 6.17.

Таблица 6.14 – Матрица сравнения древесных композиционных материалов по рентгенозащитным свойствам

ДКМ	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	=	>	>	>
X_2	<	=	>	>
X_3	<	<	=	<
X_4	<	<	>	=

Таблица 6.15 – Матрица сравнения древесных композиционных материалов по стоимости

ДКМ	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	=	<	<	<
X_2	>	=	<	>
X_3	>	>	=	>
X_4	>	<	<	=

Таблица 6.16 – Матрица сравнения древесных композиционных материалов по трудоемкости изготовления

ДКМ	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	=	>	<	<
X_2	<	=	<	<
X_3	>	>	=	<
X_4	>	>	>	=

Таблица 6.17 – Матрица сравнения древесных композиционных материалов по токсичности

ДКМ	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	=	<	<	<
X_2	>	=	>	=
X_3	>	<	=	<
X_4	>	=	>	=

Сформируем матрицы смежности по каждому из показателей для конкурирующих древесных композиционных материалов (рисунки 6.3 - 6.6). Определим параметры матрицы смежности для первого свойства – стоимости (рисунок 6.3).

1. Найдем значения K_1 , w_1 и a_{i1} :

$$K_1 = \frac{0,78}{0,39} = 2, \quad w_1 = \left(\frac{2-1}{2+1} + \sqrt{\frac{0,05}{4}} \right) \cdot 1 = 0,442,$$

$$a_{i1} = \begin{cases} 1 + 0,442 = 1,442 \\ 1 \\ 1 - 0,442 = 0,558 \end{cases}.$$

2. Найдем мощность критерия первого порядка для материала «Фанотрен А» (по первой строке):

$$P_{11} = \sum_{i=1}^4 a_{i1} = 5,326,$$

для материала «Фанотрен Б» (по второй строке):

$$P_{21} = \sum_{i=1}^4 a_{i2} = 4,442,$$

и т.д. $P_{31} = 2,674$, $P_{41} = 3,558$.

3. Определяем нормированные значения мощностей критерия первого порядка:

$$P_{11}^*(1) = \frac{P_{11}(1)}{P(1)} = 0,333,$$

соответственно: $P_{21}^*(2) = 0,278$, $P_{31}^*(3) = 0,167$, $P_{41}^*(4) = 0,222$.

4. Рассчитаем значение мощности концентрации второго порядка $P_{i1}(2)$:

$$P_{11}(2) = \sum_{i=1}^4 a_{i1} P_{i1}(1) = 1 \cdot 5,326 + 1,442 \cdot 4,442 + 1,442 \cdot 2,674 + 1,442 \cdot 3,558 = 20,72,$$

$$P_{21}(2) = 16,4, \quad P_{31}(2) = 10,11, \quad P_{41}(2) = 12,86.$$

Затем определяем нормированные значения $P_1^*(2)$. Далее аналогичным образом рассчитываем значения мощностей критерия до тех пор, пока не будет выполнено соотношение:

$$|P_{ij}(i+1) - P_{ij}(i)| \leq 0,01.$$

Определим новые значения K_j^*, β^* :

$$K_1^* = \frac{0,345}{0,169} = 2,03;$$

$$\beta_1^* = \frac{2,03}{2,03} = 1,$$

т.к. условие $\beta \leq \beta^*$ выполнено, то можно перейти к расчету приоритетов по второму показателю и т.д.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ДКМ	X1	X2	X3	X4	$P_{i1}(1)$	$P_{i1}^*(1)$	$P_{i1}(2)$	$P_{i1}^*(2)$	$P_{i1}(3)$	$P_{i1}^*(3)$	
2	X1	1	1,442	1,442	1,442	5,326	0,333	20,72	0,345	77,50	0,345	
3	X2	0,558	1	1,442	1,442	4,442	0,278	16,40	0,273	61,09	0,272	
4	X3	0,558	0,558	1	0,558	2,674	0,167	10,11	0,168	38,00	0,169	
5	X4	0,558	0,558	1,442	1	3,558	0,222	12,86	0,214	48,15	0,214	
6	Итого:					16		60,09		224,74		
7												
8		$K= 2$		$w= 0,442$		$\beta= 1$						
9												
10		$K^*= 2$		$\beta^*= 1$		$\beta = \beta^*$						
11												

Рисунок 6.3 - Матрица смежности для сравнения древесных композиционных материалов по рентгенозащитным свойствам

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ДКМ	X1	X2	X3	X4	Pi1(1)	Pi1*(1)	Pi1(2)	Pi1*(2)	Pi1(3)	Pi1*(3)	Pi1(4)	Pi1*(4)	Pi1(5)	Pi1*(5)
2	X1	1	0,06	0,06	0,06	1,18	0,074	2,07	0,04	4,72	0,04	11,32	0,04	26,62	0,04
3	X2	1,94	1	0,06	1,94	4,94	0,309	13,57	0,29	30,81	0,27	67,96	0,26	152,62	0,25
4	X3	1,94	1,94	1	1,94	6,82	0,426	24,63	0,53	66,72	0,58	159,65	0,60	366,57	0,60
5	X4	1,94	0,06	0,06	1	3,06	0,191	6,05	0,13	12,36	0,11	27,38	0,10	62,99	0,10
6	Итого:					16		46,33		114,62		266,31		608,80	
7															
8															
9		K=	32,6		w=	0,94		$\beta=$	1						
10															
11		K*=	15		$\beta^*=$	32,6/15=2,2		$\beta <$	β^*						

Рисунок 6.4 - Матрица смежности для сравнения древесных композиционных материалов по стоимости

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ДКМ	X1	X2	X3	X4	Pi2(1)	Pi2*(1)	Pi2(2)	Pi2*(2)	Pi2(3)	Pi2*(3)
2	X1	1	1,71	0,29	0,29	3,29	0,21	9,63	0,18	30,95	0,18
3	X2	0,29	1	0,29	0,29	1,87	0,12	5,97	0,11	19,87	0,11
4	X3	1,71	1,71	1	0,29	4,71	0,29	15,31	0,28	48,66	0,28
5	X4	1,71	1,71	1,71	1	6,13	0,38	23,01	0,43	75,86	0,43
6	Итого:					16		53,92		175,34	
7											
8			K=	4		w=	0,71		$\beta=$	1	
9											
10			K*=	4		$\beta^*=$	4/4=1		$\beta =$	β^*	
11											

Рисунок 6.5 - Матрица смежности для сравнения древесных композиционных материалов по трудоемкости изготовления

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ДКМ	X1	X2	X3	X4	Pi3(1)	Pi3*(1)	Pi3(2)	Pi3*(2)	Pi3(3)	Pi3*(3)
2	X1	1	0,39	0,39	0,39	2,17	0,14	7,56	0,13	26,96	0,13
3	X2	1,61	1	1,61	1	5,22	0,33	19,39	0,34	68,60	0,34
4	X3	1,61	0,39	1	0,39	3,39	0,21	10,96	0,19	38,26	0,19
5	X4	1,61	1	1,61	1	5,22	0,33	19,39	0,34	68,60	0,34
6	Итого:					16		57,30		202,42	
7											
8			K=	3		w=	0,61		$\beta=$	1	
9											
10			K*=	2,6		$\beta^*=$	1,5		$\beta <$	β^*	
11											
12	Повторный расчет										
13	ДКМ	X1	X2	X3	X4	Pi3(1)	Pi3*(1)	Pi3(2)	Pi3*(2)	Pi3(3)	Pi3*(3)
14	X1	1	0,168	0,168	0,168	1,504	0,09	3,94	0,08	11,94	0,08
15	X2	1,832	1	1,832	1	5,664	0,35	19,89	0,39	61,33	0,39
16	X3	1,832	0,168	1	0,168	3,168	0,20	7,83	0,15	21,73	0,14
17	X4	1,832	1	1,832	1	5,664	0,35	19,89	0,39	61,33	0,39
18	Итого:					16		51,54		156,32	
19											
20			K*=	2,6		w=	0,832		$\beta^*=$	1,5	
21											
22			K**=	4,5		$\beta^*=$	0,57		$\beta >$	β^*	
23											

Рисунок 6.6 - Матрица смежности для сравнения древесных композиционных материалов по токсичности

Таким образом, в результате проведенных расчетов получены значения приоритетов по каждому древесному композиционному материалу для каждого показателя (см. последний значащий столбец рисунки 6.3 - 6.6).



Расчет приоритетов показателей древесных композиционных материалов по комплексу показателей представлен в рисунке 6.7. Как видно из рисунка наибольшим приоритетом $P=0,292$ обладает материал «DS-1», а наименьшим – $P=0,209$ – материал «Плитотрен».






	A	B	C	D	E	F
1	Номер показателя	Древесный композиционный материал				Приоритет
2	теля	"Фанотрен А"	"Фанотрен Б"	"Плитотрен"	"DS-1"	показат
3		$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	еля
4	1	0,345	0,272	0,169	0,27	0,3
5	2	0,33	0,27	0,22	0,214	0,4
6	3	0,18	0,11	0,28	0,43	0,2
7	4	0,08	0,39	0,14	0,39	0,1
8	P_i	0,280	0,251	0,209	0,292	-
9						
10						

Рисунок 6.7 - Матрица смежности для сравнения древесных композиционных материалов по комплексу показателей

Сравнительный анализ разработанных древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами и материалов, которые широко применяются для этих целей в настоящее время представлен в таблице 6.18.

Таблица 6.18 – Сравнительный анализ конкурирующих рентгенозащитных материалов

Материал		Толщина, мм	Свинцовый эквивалент мм/Pb (60кэВ)	Цена за м ² , руб.
1		2	3	4
	Резина	1,0-1,4	0,25	4300
	Панели Абрис РЗ	11	1,0	3300

1	2	3	4	5
	Гипсокартон Кнауф Сей- борд	12,5	0,45	2900
	Фанотрен А	4,0	0,78	18800
	Фанотрен Б	9,5	0,56	1600
	Плитотрен	13	0,39	600
	DS-1	16	0,47	2600

6.4 Выводы по главе

1. Организация производства по выпуску древесных композиционных материалов, обладающих рентгенозащитными свойствами экономически целесообразна. Рентабельность составляет от 12 до 17 %, срок окупаемости производства в пределах одного года.

2. По комплексу свойств наилучшим материалом является «DS-1». Остальные материалы имеют несколько меньшую по комплексу свойств суммарную оценку, которая лишь незначительно отличается от «DS-1». Это свидетельствует о высоком качестве разработанных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами.

3. Разработанные древесные композиционные материалы по своим рентгенозащитным свойствам и стоимости способны конкурировать с материалами, широко применяемым для этих целей в настоящее время.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Древесные слоистые и плитные материалы являются эффективной заменой как цельной древесины, так и других конструкционных, декоративных и материалов, обладающих особыми свойствами.

2. В настоящее время на отечественном рынке представлена широкая гамма разнообразных материалов, способных выполнить защиту от рентгеновского излучения, однако их отличают либо низкие конструкционные и эксплуатационные свойства, либо высокая стоимость. Древесные композиционные материалы, в этом отношении, позволяют решить данный компромисс.

3. Теоретически доказано, и экспериментально подтверждено, что поверхность лущеного шпона представляет собой реализацию нормального стационарного случайного процесса. Распределение неровностей на поверхности лущеного шпона подчиняется математическому описанию корреляционными и аппроксимирующими функциями второго типа.

4. Кривая опорной поверхности с высокой достоверностью отражает процесс контакта листов лущеного шпона в процессе их склеивания, в том числе и при использовании в качестве адгезива легкоплавких металлов (например, сплава Вуда). При этом толщина армирующего слоя исходя из требуемой величины рентгенозащитных свойств должна составлять не менее $0,3 \pm 0,05$ мм.

5. Процесс прессования древесных композиционных материалов на основе порошкового связующего может быть описан системой дифференциальных уравнений в частных производных при контактном нагреве влажного пористого тела с введением внутренних коэффициентов тепло- и массообмена, которая включает :

- уравнение фильтрации;
- уравнение переноса паровоздушной смеси;
- уравнение влагосодержания;

- уравнение теплопроводности в скелете пористого тела;
- уравнение переноса энергии паровоздушной смесью.

На основании решения данной системы можно заключить:

- относительно малые относительно малые величины давления парогазовой смеси и его градиента обуславливают незначительный перенос тепла в плоскости плиты за счёт конденсации и конвекции, что уменьшает скорость прогрева прессуемого пакета;

- возможно некоторое изменение продолжительности цикла прессования как в большую (продолжительность выдержки пакета под давлением), так и в меньшую (продолжительность снижения давления) сторону.

6. Для описания поведения древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами в момент нахождения их под нагрузкой использовано уравнение Софии – Жермен.

7. Контактная поверхность древесного шпона является гидрофобной по отношению к металлической фольге, поэтому контактное взаимодействие между этими материалами достигается лишь механическим внедрением адгезива, находящегося в расплавленном состоянии вглубь пористой структуры древесины лиственных пород. Адгезионная прочность – это результат действия сил механической адгезии, которая в данном случае характеризуется количеством «якорных зацеплений», степенью разветвленности этих зацеплений и глубиной проникновения расплавленного сплава в граничные слои древесного субстрата;

8. Для конструкции древесного композита «Фанотрен А» характерно проникновение в поры древесного шпона лиственных пород жидкого сплава, выступающего в роли адгезива в конструкции материала, в период предшествующий его затвердеванию. Проникающий в поры древесины сплав распределяется по внутренним полостям, образуя своеобразную пространственную систему с различными ответвлениями, разных размеров, и образует при затвердевании прочный клеевой шов. Слой фольги толщиной 0,3 мм в конструкции материала распределяется следующим образом: толщина сплошно

струкции материала распределяется следующим образом: толщина сплошного слоя составляет $0,175 \pm 0,181$ мм; глубина проникновения адгезива в толщину шпона – $0,29 \pm 0,33$ мм.

9. Рациональные режимы создания конструкции древесного композиционного материала «Фанотрен А» - шероховатость поверхности шпона – 60 мкм, толщина прессуемого материала – 3,6 мм, продолжительность прессования – 6 мин. При этом ожидаемые физико – механические свойства – предел прочности: при скалывании по клеевому слою 0,47 МПа, при статическом изгибе вдоль наружных слоев – 80 МПа, при растяжении вдоль волокон – 62 МПа.

10. Для создания РЗС, используемых в качестве армирующих элементов в конструкции материала «Фанотрен Б» используется пропитывающая композиция, на основе минерального наполнителя (сульфата бария). Его содержание не должно превышать 60 %, т.к. его дальнейшее увеличение приведет к получению высоковязкой композиции, не способной пропитать матрицу.

11. Увеличение температуры сушки РЗС до $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ позволит сократить ее продолжительность до 3,5 - 4 ч.

12. Рациональные режимы создания древесного композиционного материала «Фанотрен Б» - расход связующего – 175 г/м^2 ; температура плит пресса – 65°C , продолжительность прессования – 6,2 мин. При этом ожидаемые физико – механические свойства – предел прочности: при скалывании по клеевому слою 1,43 МПа, при статическом изгибе вдоль наружных слоев – 17,5 МПа, при растяжении вдоль волокон – 32 МПа.

13. Степень водопоглощения материала «Фанотрен Б» – 63,5%, разбухание по толщине – 17 %; у «Фанотрен А» - эти показатели не нормируются;

14. Свинцовый эквивалент (режим экспонирования: напряжение 60 кэВ, сила тока 40 мА, время 0,06 с) для материала «Фанотрен А» составляет 0,78 мм/Pb мм, для материала «Фанотрен Б» - 0,56 мм/Pb мм.

15. Увеличение содержания минерального наполнителя (сульфата бария) в древесно-клеевой композиции повышает водостойкость древесных композиционных материалов «Плитотрен» и «DS-1». Так повышение содержания

наполнителя до 40 % снижает разбухание по толщине по сравнению с его нулевым содержанием в 1,8 раза для материала «Плитотрен» и в 2,4 раза для материала «DS-1».

16. Прочностные характеристики материалов «Плитотрен» и «DS-1» при увеличении содержания минерального наполнителя падают. Так, предел прочности при статическом изгибе существенно уменьшается (более чем в 2 раза), что можно объяснить ухудшением адгезии между расплавленным адгезивом и субстратом за счет присутствия микрочастиц наполнителя.

17. Зависимости ударной вязкости и твердости по Бринеллю от количества минерального наполнителя в древесно-клеевой композиции материалов «Плитотрен» и «DS-1» установить не удалось, т.к. большой разброс полученных результатов, как по опытам, так и по повторениям одного опыта не позволяет дать однозначного заключения.

18. Древесно – клеевая композиция материала «Плитотрен» должна содержать 27,2% связующего, 30% - наполнителя (сульфата бария), при этом плотность плиты будет составлять 850 кг/м³; для материала «DS-1» - содержание связующего – 22,4%, наполнителя 27,6%, а плотность плиты – 1000 кг/м³.

19. Ожидаемые физико – механические свойства материала «Плитотрен»: разбухание по толщине – 9,5 %, предел прочности при статическом изгибе – 15,2 МПа; соответственно для материала «DS-1» - 8,7 % и 13,5 МПа.

20. Увеличение количества минерального наполнителя в древесно – клеевой композиции материалов «Плитотрен» и «DS-1» повышает рентгенозащитные свойства предлагаемых материалов.

21. При содержании минерального наполнителя в древесно – клеевой композиции в пределах от 20 до 30 % наблюдается интенсивное ослабление рентгеновского излучения материалами «Плитотрен» и «DS-1». Дальнейшее увеличение содержания наполнителя в композиции не приводит к существенному увеличению их рентгенозащитных свойств. Поэтому учитывая влияние наполнителя на физико-механические свойства материалов рекомендуется его вводить в древесно – клеевую композицию в пределах от 28 до 30 %.

22. Равномерность распределения наполнителя (сульфата бария) зависит от его количества в древесно-клеевой композиции и от размера древесных частиц. Более мелкие древесные частицы, используемые для изготовления материалов «Плитотрен» и «DS-1» позволяют равномернее распределиться частицам наполнителя по материалам. Это, в свою очередь, повышает их рентгенозащитные свойства.

23. Свинцовый эквивалент при содержании наполнителя в количестве 30% (режим экспонирования: напряжение 60 кэВ, сила тока 40 мА, время 0,06 с) для материала «Плитотрен» составляет 0,39 мм/Pb мм, для материала «DS-1» - 0,47 мм/Pb мм.

24. По содержанию свободного формальдегида материал «Плитотрен» имеет класс эмиссии E 1, а материал «DS-1» – E 0,5.

25. Организация производства по выпуску древесных композиционных материалов, обладающих рентгенозащитными свойствами экономически целесообразна. Рентабельность составляет от 12 до 17 %, срок окупаемости производства в пределах одного года.

26. По комплексу свойств наилучшим материалом является «DS-1». Остальные материалы имеют несколько меньшую по комплексу свойств суммарную оценку, которая лишь незначительно отличается от «DS-1». Это свидетельствует о высоком качестве разработанных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами.

27. Разработанные древесные композиционные материалы по своим рентгенозащитным свойствам и стоимости способны конкурировать с материалами, широко применяемым для этих целей в настоящее время.

28. По результатам исследований изготовлена опытно-промышленная партия разработанных древесных композиционных материалов в условиях ОАО «Этюд-Урал» г. Екатеринбург и ООО «БиКдрев» г. Екатеринбург, что подтверждает возможность их изготовления в условиях промышленного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мэттьюз Ф. Композиционные материалы. Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Ролинге. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.
2. Васильев В.В. Композиционные материалы / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общей ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. Соловьева Т.В. Технология древесных композиционных материалов и изделий / Т.В. Соловьева, М.М. Ревяко, И.А. Хмызов. – Минск: БГТУ, 2008. – 180 с.
4. Леонов В.В. – Материаловедение и технология композиционных материалов / В.В. Леонов, О.А. Артемьева, Е.Д. Кравцова. – Красноярск: Сибирский Федеральный ун-т, 2007. – 241 с.
5. Лахтин Ю.М. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
6. Оболенская А.В. Химия древесины и полимеров / А.В. Оболенская, В.П. Щеголев. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 168 с.
7. Экстрактивные вещества древесины и значение их в целлюлозно-бумажном производстве. Под ред. В. Э. Хиллиса. – М.: Лесная промышленность, 1965. - 505 с. :
8. Рифонова Т.Т. Дерево дает уроки / Т.Т. Рифонова // Информационно-аналитический журнал. – №1. – 2005.
9. Ветошкин Ю.И. Конструкции и эксплуатационно-технологические особенности композиционных рентгенозащитных материалов на основе древесины / Ю.И. Ветошкин, И.В. Яцун, О.Н. Чернышев О.Н. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2009. – 148 с.
10. Лебедев В.С. Технология клееных материалов и плит / В.С. Лебедев. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 498 с.

11. Куликов В.А. Производство фанеры / В.А. Куликов. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 208 с.
12. Волынский В.Н. Технология клееных материалов / В.Н. Волынский. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 1998. – 229 с.
13. Кириллов А.Н. Технология фанерного производства / А.Н. Кириллов, Е.И. Карасев. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 312 с.
14. Справочник фанерщика / А.В. Волков и др. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010. – 486 с.
15. Смирнов А.В. Клееная фанера / А.В. Смирнов. – М.: Гослесбумиздат, 1959. – 100 с.
16. Орлов А.Т. Новые технологии слоистой клееной древесины / А.Т. Орлов, Ю.Н. Стриженов. – М.: Лесная пром-ть, 1980. – 144 с.
17. Армированная фанера. Режим доступа <https://www.merani.ru> (дата обращения 20.04.2018).
18. Угрюмов С.А. Оценка прочности армированной композиционной фанеры / С.А. Угрюмов, А.В. Шеин // Вестник ПГТУ, 2014. №4(24). – С. 48 – 54.
19. Упитис Г.Л. Армирование березовой фанеры волокнами конопли / Г.Л. Упитис, Я.А. Долацис // Актуальные проблемы развития лесопромышленного комплекса. Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО КГТУ, 2012. – С. 128 – 130.
20. Угрюмов С.А. Исследование свойств армированной фанеры / С.А. Угрюмов, К.А. Румянцева // Вестник Костромского государственного технологического университета, 2015. №1 (34). – С. 475 – 479.
21. Угрюмов С.А. Использование отходов деревообработки в производстве армированной композиционной фанеры // С.А. Угрюмов, А.В. Шеин // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. IV Международная экологическая конференция, 2015. – С. 367 – 370.

22. Криворотова А.И. Исследование свойств фанеры армированной базальтовыми и полиэстеровыми волокнами / А.И. Криворотова, О.А. Усольцев // Хвойные бореальной зоны, 2016. XXXVII. №5. – С. 327 – 332.
23. Шамаев В.А. Композиционная фанера с добавками наноцеллюлозы / В.А. Шамаев, Д.А. Паринов // Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник, 2016. Т. 20. №3. – С. 95 – 100.
24. Свешников А.С. К вопросу об использовании древесных отходов в производстве композиционной фанеры / А.С. Свешников // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ – 2013. Материалы XIV Международной молодежной научной конференции в 5-ти частях, 2013. – С. 33 – 35.
25. Lukawski D., Dudkowiak A., Janczak D., Lekawa-Raus A. Preparation and applications of electrically conductive wood layered composites / Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. V.127, 2019. doi:10.1016/j.compositesa.2019.105656.
26. Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков / А.Н.Минин. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 296 с.
27. Ребрин С.П. Технология древесноволокнистых плит: / С.П. Ребрин. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 320 с.
28. Романов Н.Т. Технология древесных пластиков и плит / Н.Т. Романов. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 500 с.
29. Энциклопедия по машиностроению XXL. Оборудование, материаловедение, механика. Режим доступа: <http://www.mash-xxl.info> (дата обращения 25.05.2019).
30. Термогибкие древесные слоистые пластики Режим доступа: <http://www.allfanera.ru> (дата обращения 25.05.2019).
31. Древесно – слоистые пластики. Режим доступа: <https://otherreferats.allbest.ru> (дата обращения 25.05.2019).
32. Столярная плита. Режим доступа <http://street-mebel.ru> (дата обращения 20.04.2018).

33. Баркалаи Г.Е. Баркалаит как новый вид пластмассы / Г.Е. Баркалаи // «Труды ЦНИЛХИ», 1937. Вып. 1.
34. Солечник Н.Я. О получении древесного пластика без связующего / Н.Я. Солечник // Деревообрабатывающая промышленность. – Вып. 3. 1963. – С. 9-11.
35. Петри В.Н. Плитные материалы и изделия из древесины и других одревесневевших остатков без добавления связующих / В.Н. Петри. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 360 с.
36. Лосев И.П. Частично гидролизованная древесина, как активный компонент прессованных композиций / И.П. Лосев, Л.В. Гордон // Труды ЦНИЛХИ, 1950. Вып. 9. – С. 54-70.
37. Отлев И.А. Справочник по производству древесностружечных плит / И.А. Отлев. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 384 с.
38. Лялькин И.А. Производство технологической щепы из отходов древесины и дровяного долготья / И.А. Лялькин. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 270 с.
39. Модлин Б.Д. Производство древесностружечных плит / Б.Д. Модлин, И.А. Отлев. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 256 с.
40. Михайлов Г.М. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья / Г.М. Михайлов, Н.А. Серов. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 224 с.
41. Петрушева Н.А. Подготовка вторичного волокна при производстве древесноволокнистых плит мокрым способом: автореф. дис. канд. техн. наук / Петрушева Надежда Александровна. – Красноярск: СибГТУ, 2003. – 18 с.
42. Баженов В.А. Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков / В.А.Баженов, Е.И. Карасев, Е.Д. Мерсов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 360 с.

43. Ветошкин Ю.И. Эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе древесины: монография // Ю.И. Ветошкин, И.В. Яцун, И.В. Коцюба. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. – 100 с.
44. ГОСТ 16361-87. Мука древесная. М.: Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.
45. ГОСТ 23246-78. Древесина измельченная № 2188. М.: Изд-во стандартов, 1978. – 16 с.
46. Ребрин С.П. Технология древесноволокнистых плит / С.П. Ребрин. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 272 с.
47. Доронин Ю.Г. Древесные пресс-массы (технология производства, применение) / Ю.Г.Доронин, С.Н. Мирошниченко, И.А. Шулепов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 112 с.
48. Щербаков А.С. Технология композиционных древесных материалов: Учебное пособие для вузов / А.С. Щербаков, И.А. Гамова, А.В. Мельникова. – М.: Экология, 1992. – 192 с.
49. Плоткин Л.Г. Декоративные бумажно-слоистые пластики / Л.Г. Плоткин, Г.Б. Шалун. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 328 с.
50. Филичкина М.В. Композиционный материал, содержащий древесный наполнитель / М.В. Филичкина // Актуальные проблемы научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. Т.2. №3-4 (8-2). – С. 455 – 459.
51. Боярский В.С. Производство плит из мягких отходов древесины и лужги подсолнуха / В.С. Боярский. – М.: ЦБТИ Лесная промышленность, 1960. – 84 с.
52. Ханский В.В. Строительные материалы из костры / В.В. Ханский. – М.: Стройиздат, 1961. – 48 с.
53. Сафин Р.Г. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов / Р.Г. Сафин, В.В. Степанов, Э.Р. Хайруллина, А.А. Гайдуллина, Т.О. Степанова // Вестник Казанского технологического университета, 2014. Т.17. №20. – С. 123-128.

54. Сафин Р.Г. Разработка композиционных материалов на основе древесных отходов / Р.Г. Сафин, Т.Д. Исхаков, А.А. Гандуллина, Т.О. Степанова, А.П. Хабибуллина // *Деревообрабатывающая промышленность*, 2014. № 4. – С.32 – 37.
55. Stefan V., Rathin J., Weigl M., Gindl-Altmutter W. / Particle Board and Oriented Straed Board Prepared with Nanocellulose – Reinforced Adhesive / *Journal of Nanomaterials*, 2012. doi:10.1155/2012/158503.
56. Harmi T.P., Sutarman, Edi W., Syamsul A., Fitri G.A.N. The analysis of composite particle board based on mushroom growing media wast / *Materials Scince Forum*. V.966 MSF, 2019. P. 210-214.
57. Hysek S., Sikora A., Schonfelder O., Bohm M. Physical and mechanical properties of boards made from modified rapeseed straw particles / *BioResources*. V.13, I.3, 2019. P/ 6396-6408.
58. Kopanskyu M., Myklash L. Properties of wood composites produced from Rape Wastes / 26 th International Conference on Wood Science and Technology, ICWST 2015: Implementation of Wood Science in Woodworking Sector – Proceeding. P.135-139.
59. De Lira Bazzetto J.T., Bortoletto J, Brito F.M.S. Effect of particle siz on bamboo particle board properties / *Floresta e Ambiente*. V.26, I.2, 2019.
60. Мельникова А.В. Технология композиционных материалов в деревообработке: учебное пособие для вузов / А.В. Мельникова. – М.: Экология, 2002. – 212 с.
61. Шейдин И.А. Технология производства древесных пластиков и их применение / И.А. Шейдин, П.Э. Пюдик. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 263 с.
62. Аксомитный А.А. Разработка технологии получения древесных композиционных материалов на основе промышленных отходов / А.А. Аксомитный, Т.Н. Стародубцева // *Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок – прорыв в будущее. Материалы региональной научно – технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*, 2014. – С. 160 – 162.

63. Данилов В.Е. Армирование древесной матрицы наноразмерными частицами базальта для получения композиционного материала / В.Е. Данилов, А.М. Айзенштадт / Развитие Северо – Арктического региона: проблемы и решения. Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, 2015. – С. 327 – 333.
64. Питухин А.В. Применение наноразмерного шунгита в производстве ДСтП из низкокачественной древесины /А.В. Питухин, Н. Г. Панов, Г. Н. Колесников, С. Б. Васильев. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. – 126 с.
65. Питухин А.В. Применение низкосортной осины для производства древесностружечных плит с использованием нанопорошка шунгита / А.В. Питухин, Н.Г. Панов, О.А. Куницкая / Леспромформ, 2019. №4.
66. López-Suevos F., Eyholzer C., Bordeanu N., Richter K. DMA analysis and wood bonding of PVAc latex reinforced with cellulose nanofibrils / Cellulose, vol. 17, no. 2, 2010. - P. 387 - 398.
67. Cole J.T., Street J.T. Investigation of the use of micronized rubber Powder in wood-based composite particleboard /2019 ASABE Annual International Meeting 2019.
68. Grigoriou A.H. Waste paper-wood composites bonded with isocyanate / Wood Science and Technology. 37(1), 2003. P. 79-89.
69. Доронин Ю.Г. Синтетические смолы в деревообработке / Ю.Г. Доронин, С.Н. Мирошниченко. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.
70. Кноп А. Фенольные смолы и материалы на их основе / А. Кноп, В. Шейб. – М.: Химия, 1983. – 280 с.
71. Азаров В.И. Технология связующих и полимерных материалов / В.И. Азаров, В.Е. Цветков. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 216 с.
72. Темкина Р.З. Синтетические клеи в деревообработке / Р.З. Темкина. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 288 с.

73. Кондратьев В.П. Водостойкие клеи в деревообработке / В.П. Кондратьев, Ю.Г. Доронин. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 216 с.
74. Щербаков А.С. Арболит. Повышение качества и долговечности /А.С.Щербаков, Л.П. Хорошун, В.С. Подчуфаров. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 160 с.
75. Пат. 2106242 Российская Федерация, МПК В 27 NN/02. Способ изготовления изделий прессованием из древесного пластика / Непрошин Е.И.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Научно-производственная и инвестиционная ассоциация «Стройпрогресс»». - № 96118964.
76. Пат. 2028941 Российская Федерация, МПК В 27 N 003/02. Способ изготовления древесных плит на термопластичных связующих / Семочкин Ю.А.; заявитель Семочкин Ю.А. и патентообладатель Терпугов М.А. - № 5031625.
77. Пат. 2106961 Российская Федерация, МПК В 27 N 003/02. Способ изготовления изделий из древесно-полимерного композиционного материала / Непрошин Е.И.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Научно-производственная и инвестиционная ассоциация «Стройпрогресс»». - №96118966.
78. Passant Y., Khaled Z., Khaled N., Mohamed D., Salah El.H. Manufacturing of Wood-Plastic Composite Boards and Their Mechanical and Structural Characteristics / Journal of Materials in Civil Engineering. T.31, V.10. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002881.
79. Akinyemi B.A., Okonkwo C.E., Alhassan E.A., Ajiboye M. Durability and strength properties of particle boards from polystyrene-wood wastes / Journal of Material Cycles and Waste Management. 21(6), 2019. P. 1541-1549.
80. Хрулев В.М. Модифицированная древесина в строительстве / В.М. Хрулев. – М.: Стройиздат, 1986. – 112 с.

81. Вигдорович А.И. Древесные композиционные материалы в машиностроении. Справочник / А.И. Вигдорович, Г.В. Сагалаев, А.А. Поздняков. – М.: Машиностроение, 1991. – 256 с.
82. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс: Учебник для вузов / С.В.Власов. – М.: Химия, 1995. – 528 с.
83. Отлев И.А. Справочник по древесностружечным плитам / И.А. Отлев, Ц.Б. Штейнберг. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 240 с.
84. Мелони Т. Современное производство древесностружечных и древесноволокнистых плит / Т. Мелони. – М., 1982. – 296 с.
85. Баженов В.А. Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков / В.А. Баженов, Е.И. Карасев, Е.Д. Мерсов. – М.: Экология, 1992. – 416 с.
86. Модлин Б.Д. Производство древесностружечных плит / Б.Д. Модлин. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 216 с.
87. Шварцман Г.М. Производство древесностружечных плит / Г.М. Шварцман, Д.А. Щедро. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 320 с.
88. Мерсов Е.Д. Производство древесно - волокнистых плит / Е.Д. Мерсов. – М.: Высшая школа, 1989. – 232 с.
89. Справочник по древесно – волокнистым плитам / В.И. Бирюков, М.С. Лащавер, Е.Д. Мерсов. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 184 с.
90. Волынский В.Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учебно-справочное пособие / В.Н. Волынский. – СПб.: Лань, 2010. – 336 с.
91. Дроздов И.Я. Производство твердых древесно-волокнистых плит / И.Я. Дроздов, В.М. Кунин. – М.: Высшая школа, 1970 – 336 с.
92. Технология производства МДФ от главного технолога. Режим доступа: <https://andreynoak.ru> (дата обращения 01.06.2019).
93. OSB плиты: характеристики и применение материала. Режим доступа: <https://srbu.ru> (дата обращения 01.06.2019).

94. Технология производства ОСБ плит. Режим доступа: <https://promzn.ru> (дата обращения 01.06.2019).
95. Процесс производства плит OSB. Режим доступа <https://www.osbplyta.ru> (дата обращения 01.06.2019).
96. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующего излучения / Б. П. Голубев. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1963. – 336 с.
97. Аглинцев К.К. Дозиметрия ионизирующего излучения / К.К. Аглинцев. – М.: Техничко - техническая литература, 1957. – 503 с.
98. СанПиН 2.6.1.1192-03. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. Режим доступа <https://mooml.com> (дата обращения 11.11.2017).
99. Косолапов Г.Ф. Рентгенография / Г.Ф. Косолапов. – М.: Высшая школа, 1962. – 332 с.
100. Яцун И.В. Слоистый материал специального назначения на основе древесины: дисс. канд. техн. наук / И.В.Яцун. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. – 237 с.
101. Ветошкин Ю.И. Рентгенозащитный слоистый материал: отчет о пат. иссл. / Ю.И. Ветошкин, Н.Д. Горшунова, В.В. Глазырин. – Екатеринбург, УГЛТУ, 2001. – 85 с.
102. Ветошкин Ю.И. Особенности физико-механических свойств композиционного защитного материала / Ю.И. Ветошкин, И.В. Коцюба, С.А. Одинцева // Урал промышленный – Урал полярный: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: сб.матер. VI междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. – С. 150-153.
103. Карев Б.Н. Теоретическое определение толщины рентгенозащитного композиционного материала / Б.Н. Карев, И.В. Яцун, Ю.И. Ветошкин // Вестник Казанского университета, 2013. Т. 16. № 1 - С. 44-47.

104. Ветошкин Ю.И. Декоративный защитный материал для рентгенкабинетов / Ю.И. Ветошкин, И.В. Яцун, С.В. Соболева // Домострой. – Екатеринбург: ООО «Диалог-дизайн», 2001. №12. – С.16-20.
105. Свинец листовой. Режим доступа: <http://www.medrk.ru> (дата обращения 10.06.2019).
106. Резина рентгенозащитная (просвинцованная). Режим доступа: <http://mobilefences.ru> (дата обращения 10.06.2019).
107. Рентгенозащитное свинцовое стекло. Режим доступа <http://96ur.com> (дата обращения 10.06.2019).
108. Пат. 2063074 Российская Федерация, МПК G21F1/10. Материал для защиты от радиоактивного воздействия / Павленко В.И.; заявитель и патентообладатель: Белгородская государственная технологическая академия строительных материалов; Малое предприятие «Корунд»; Научно-производственное объединение «Пластик». – № 94003598.
109. Пат. 2111558 Российская Федерация, МПК G21F1/10. Пастообразный материал для защиты от радиоактивных излучений / Лазебник И.М.; заявитель и патентообладатель: Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН; Лазебник Иосиф Моисеевич; Андреев Владимир Васильевич; Старостин Борис Сергеевич. - № 96112686.
110. Пат. 2081463 Российская Федерация, МПК G21F1/02. Рентгенозащитный материал / Павленко В.И.; заявитель и патентообладатель Павленко В.И. - № 94017973.
111. Пат. 2066491 Российская Федерация, МПК G21F1/10. Материал для защиты рентгеновского и гамма-излучения / Буканова Н.Н.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Научно-исследовательский институт стали». - № 94006936.
112. Баритовая рентгенозащитная штукатурка: технология нанесения. Режим доступа: <https://planken.guru> (дата обращения 10.06.2019).
113. Что такое баритовый бетон: сфера применения, особенности. Режим доступа: <https://masterabetona.ru> (дата обращения 10.06.2019).

114. Барит – болонский камень. Режим доступа: <https://lutch.ru> (дата обращения 10.06.2019).
115. Рентгенозащитный гипсокартон Кнауф – Сейфборд. Режим доступа <https://www.knauf.ru> (дата обращения 10.11.2018).
116. Крюк В.И., Швам Е.Е. Физика в древесиноведении и технологии древесины: лекции / В.И. Крюк, Е.Е. Швам. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005 – 63 с.
117. Щеткин Ю.И. Свойства древесины как поглотителя гамма (рентгеновского излучения) / Ю.И. Щеткин, Л.М. Исаева // Исследование свойств древесины и древесных материалов – 1969. – С.7 – 9.
118. Скорняков Н.Н. Ослабление рентгеновских лучей пластиками из цельной древесины / Н.Н. Скорняков // Технология древесных плит и пластиков, 1978. №5. – С.23 – 27.
119. Долацис Я.А. Радиационно-химическое модифицирование древесины / Я.А. Долацис. – Рига: Зинатне, 1985. – 218 с.
120. Локатош Б.К. Дефектоскопия древесины / Б.К. Локатош. – М.: Лесная промышленность, 1966. – 184 с.
121. Jurasek L. Absorcija gata ziarenia kobaltu 60 v dreve s rozlicnou objemovou hmotou / L. Jurasek , J. Jokel // Drevarsky vyskum. – 1962. Zv.1, S.21 – 32.
122. Берснев А.П. Опыт сипользования радиоактивных изотопов для исследования древесины / А. П. Берснев, А. Г. Фокина // Деревообрабатывающая промышленность, 1958. №8. – С. 11-13.
123. Локатош Б.К. О применении радиоактивных изотопов в деревообработке / Б. К. Локатош // Деревообрабатывающая промышленность, 1957. №5. – С. 9-10.
124. Артемьев В.А. Об ослаблении рентгеновского излучения ультрадисперсными средами / В.А. Артемьев // Письма в ЖТФ, 1997. Т.23. №6. – С. 5- 9.
125. Андрианов Е.А. Оценка прироста радиационно-защитных свойств композитов на основе полидисперсных наполнителей / А.Ю. Андрианов,

- Е.А. Джур, Ю.А Крикун // Вопросы атомной науки и техники, №2, 2007. – С.220-225.
126. Мяслицин А.В. Формирование композиционных материалов на основе древесины с защитными свойствами от рентгеновского излучения: дисс. канд. техн. наук / А.В. Мяслицин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. – 131 с.
127. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США; пер. с англ. Я. П. Горелика и Т.В. Михайловой; под ред. С. Н. Горшина и др. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – С. 113-114, 164.
128. Лейпунский О. И. Распространение гамма-квантов в веществе / О. И. Лейпунский, Б. В. Новожилов, В. Н. Сахаров. – М.: Физматлит, 1960. – 208 с.
129. Ветошкин Ю.И. Композиционные материалы на основе древесины и их эксплуатационные свойства: монография / Ю.И. Ветошкин, И.В. Коцюба, И.В. Яцун. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. Ч.1. – 119 с.
130. Щетинин Ю.И. Свойства древесины как поглотителя гамма – (рентгеновского) излучения. / Ю.И. Щетинин, Л.Н. Исаева // Исследование свойств древесины и древесных материалов. – Красноярск: Сб. Академия наук СССР, Сиб. отделение ин-та леса и древесины им. В.Н. Сукачева, 1969. – С. 7 – 19.
131. Кимель Л.Р Защита от ионизирующих излучений. Справочник / Л. Р. Кимель, В. П. Машкович. – М.: Атомиздат, 1972. – 312 с.
132. Пятакин В.И. Анализ взаимодействия древесины и нейтронных потоков малых и средних энергий / В.И. Пятакин, Л.Р. Бирман, Ю.Д. Силуков // Технология лесопромышленного производства и транспорта. – Екатеринбург: УГЛТА, 2000. – С. 217-221.
133. Пат. 10638 Российская Федерация, МПК В32В21/04. Слоистый материал / Ветошкин Ю.И.; заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический ун-т»; Ю.И. Ветошкин, В.А. Ягуткин, И.В. Яцун. - №99104962/20.

134. Пат. 125518 Российская Федерация, МПК G21F1/12. Композиционный слоистый материал / Ветошкин Ю.И.; заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический ун-т»; Ю.И. Ветошкин, С.А. Одинцева, И.В. Яцун, И.В. Коцюба. - №2011115495/05.
135. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) 374387 Российская Федерация. Фанотрен / правообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический ун-т». - №2007740454.
136. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) 373501 Российская Федерация. Плитотрен / правообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический ун-т». - №2007740455.
137. Одинцева С.А. Повышение эффективности производства рентгенозащитного слоистого материала на основе древесины: дисс. канд. техн. наук / С.А. Одинцева. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. – 148 с.
138. Чернышев Д.О. Технология мелкодисперсных композиционных древесных материалов на основе порошкового связующего: дисс. канд. техн. наук / Д.О. Чернышев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – 167 с.
139. Bekhta P.; Salca E.A. Influence of veneer densification on the shear strength and temperature behavior inside the plywood during hot press / Construction and building materials. Т.162, 2018. - P. 20 - 26.
140. Popovska V.J., Iliev B.; Zlateski G. Impact of Veneer Layouts on Plywood Tensile Strength / Drvnaindustrija. Т. 68. № 2, 2017. - P. 153 - 161. doi:10.5552/drind.2017.1634/.
141. Popovska V.J., Antonovic A., Iliev B. Compressive Strength of Composite Wood-Based Panels / Implementation of wood science in woodworking sector. 2015, - P.111-117.

142. Bekhta P; Sedliacik Y. Effect of surface treatment on bondability of birch veneer with pf resin / International wood products journal. Т.6, 2015, - P. 49-52. doi:10.1179/2042645314y.0000000089.
143. Li H.Y., Li C.C., Chen H., Zhang D.R., Zhang S.F.; Li J.Z. Effects of Hot-Pressing Parameters on Shear Strength of Plywood Bonded with Modified Soy Protein Adhesives / Bioresources. Т.9, № 4, 2014, - P. 5858-5870.
144. Kajaks J., Kalnins K.; Reihmane S., Bernava A. Recycled Thermoplastic Polymer Hot Melts Utilization for Birch Wood Veneer Bonding / Progress in rubber plastics and recycling technology. Т.30, № 2, 2014, - P. 87-102.
145. Дергачев П.А. Влияние шероховатости поверхности шпона на прочность склеивания фанеры при различном давлении прессования / П.А. Дергачев // Механическая технология древесины, 1972. №2. – С. 83-87.
146. Янсон Э.Р. Влияние качества поверхности древесины на процесс склеивания / Э.Р. Янсон // Деревообрабатывающая промышленность, 1957. №6. – С. 20-21.
147. Куликов В.А. Проблемы точности изготовления клееной слоистой древесины: дисс. канд. наук / В.А. Куликов. – Л.: ЛТА, 1966. – 417 с.
148. Ветошкин Ю.И. Исследование процесса образования контакта клея со шпоном при склеивании последнего: дисс. канд. наук / Ю.И. Ветошкин. – Л.: ЛТА, 1980. – 186 с.
149. ГОСТ 7016-2013 Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности. – М.: Изд-во стандартов, 2014.
150. ГОСТ 99-96 Шпон лущеный. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1998.
151. ГОСТ 7865-77 Микрометры окулярные винтовые. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов.
152. Лукьянов В.С. Параметры шероховатости поверхности / В.С. Лукьянов, Я.А. Рудзит. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 162 с.

153. Линник Ю.В. Математико-статистическое описание неровностей профиля поверхности при шлифовании / Ю.В. Линник, А.П. Хусу // Инж. сб. АН СССР, 1954. Вып.20. – С.154 – 159.
154. Венцель Е.С. Теория вероятности учебник для ВТУЗов / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
155. Рудзит Я.А. О параметрах нерегулярной шероховатости поверхности / Я.А. Рудзит, И.А. Одитис // Приборостроение: сб. научн. тр. – Рига: Рижский ПИ, 1972. Вып. 8. – 44 с.
156. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. – М.: Наука, 1970. – 228 с.
157. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1977. – 528 с.
158. ГОСТ 4631-49 Показатели физико – механических свойств древесины. – М.: Изд-во стандартов, 1950.
159. Технологические инструкции по производству фанеры, фанерных плит и древесных пластиков. – Л.: ЦНИИФ, 1970. – С. 3-12.
160. Анненков В.Ф. Древесно – полимерные материалы и технология их получения / В.Ф. Анненков. – М.: Ленсн. пром-ть, 1974. – 83 с.
161. Полубояров О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояров. – М.: Ленсн. пром-ть, 1976. – 160 с.
162. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины / А.Н. Чубинский. – СПб.: Санкт – Петербургский ун-т, 1992. – 164 с.
163. Шпагин А.И. Справочник по машиностроительным материалам / А.И. Шпагин. – М.: Машгиз, 1959. Т.2. – С. 320-355.
164. Шпичинецкий Е.С. Справочник по машиностроительным материалам / Е.С. Шпичинецкий. – М.: Машгиз, 1959. Т.2. – С. 303-320.
165. Смирягин А.П. Оловянистые бронзы, баббиты, припои и их заменители / А.П. Смирягин, А.И. Шпагин. – М.: Metallurgizdat, 1949. – 494 с.

166. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Л.И. Миркин. – М.: Изд-во физико – математической литературы, 1961. – 864 с.
167. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М.: Высшая школа, 1963. – 536 с.
168. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
169. Никитенко Н.И. Исследование нестационарных процессов тепло- и массообмена методом сеток / Н.И. Никитенко. – Киев: Наукова думка, 1971. – 265 с.
170. Пасконов В.М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / В.М. Пасконов, В.И. Полежаев, Л.А. Чудов. – М.: Наука, 1984. – 228 с.
171. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 728 с.
172. Леонтьев А.И. Теория тепломассообмена / А.И. Леонтьев. – М.: Высшая школа, 1979 – 431 с.
173. Цой П.В. Методы расчета тепломассопереноса / П.В. Цой. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 414 с.
174. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
175. Лыков А.В. Кинетика динамика процессов сушки и увлажнения / А.В. Лыков. – М.: Гизлегром, 1938. – 590 с.
176. Полонская Ф.М. Исследование температурного поля влажных материалов в процессе сушки (период постоянной скорости) / Ф.М. Полонская // Журнал технической физики, 1953. Т. XXIII. Вып. 5. – С. 796 - 801.
177. Полонская, Ф.М. Тепло- и массообмен в период постоянной скорости сушки / Ф.М. Полонская // Журнал технической физики, 1953. Т. XXIII. Вып. 5. – С. 802 - 805.

178. Лыков А.В. Теория сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов пищевой промышленности / А.В. Лыков, Л.Я. Ауэрман. – М.: Пищепромиздат, 1946. – 287 с.
179. Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: АН БССР, 1959. – 330 с.
180. Михайлов Ю.А. К теории переноса конвективной сушки / Ю.А. Михайлов // Инженерно-физический журнал, 1958. Т. I. №1. – С. 105 – 108.
181. Поснов Б.А. Обобщение уравнения скорости процессов тепло- и массообмена твердых тел различной формы в регулярном режиме / Б.А. Поснов. // Журнал технической физики, 1953. Т. XXIII. Вып. 5. – С. 865 – 878.
182. Krischer O. Wärme und Stoffaustausch bei erzwungener Strömung an Körpern Verschiedener / O. Krischer, G. Loos. Form. Chm. Ing. Tech., 1958. №1. Teil 1.
183. Гамаюнов Н.И. Некоторые задачи тепло- и массопереноса / Н.И. Гамаюнов // Инженерно-физический журнал, 1962. Т. V. №2. – С. 79 – 89.
184. Страхович К.И. Некоторые задачи теплопроводности в твердых телах с переменными теплофизическими характеристиками / К.И. Страхович // Инженерно-физический журнал, 1958. Т. I. №3. – С. 3 – 23.
185. Михайлов Ю.А. Вариационные методы в теории нелинейного тепло- и массопереноса / Ю.А. Михайлов, Ю.Т. Глазунов. – Рига: Зинатне, 1985. – 182 с.
186. Гречаный О.А. Сопряженный тепломассообмен в непрерывных процессах конвективной сушки тонких тел / О.А. Гречаный, А.А. Доменский, А.Ш. Дорфман. // Промышленная теплотехника, 1987. Т. 9. №4. – С. 27 - 37.
187. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.
188. Карташов Э.М. Новые интегральные соотношения в теории нестационарного теплопереноса на основе уравнения гиперболического типа /

- Э.М. Карташов, О.Н. Ремизова // Изв. вузов: Энергетика, 2001. №6. – С. 44 - 56.
189. Карташов Э.М. Новые интегральные представления аналитических решений краевых задач нестационарного переноса в областях с движущимися границами / Э.М. Карташов // Инженерно-физический журнал, 1999. Т.72. №5. – С. 825 - 836.
190. Кудинов В.А. Аналитические решения задач теплопереноса и термоупругости для многослойных конструкций / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, В.В. Калашников. – М.: Высшая школа, 2005. – 432 с.
191. Волынский Д.Ю. Моделирование процессов термической обработки сыпучих и листовых материалов с целью повышения их эффективности: дис. д-ра техн. наук / Волынский Д.Ю. – Иваново: ИГХТУ, 2006. – 394 с.
192. Волынский В.Ю. Ячеечная модель теплообмена между стохастически движущимися одномерными потоками газа и сыпучего материала / В.Ю. Волынский, В.Е. Мизонов, В.А. Зайцев, Н. Berthlaux // Химия и химическая технология, 2005. Т.48. №6. – С. 50 – 52.
193. Волынский В.Ю. Ячеечная модель процесса обжига материала в вертикальной печи / В.Ю. Волынский // Химия и химическая технология, 2005. Т. 48. № 11. – С. 90 - 93.
194. Обливин А.Н. Тепло- и массоперенос в производстве древесностружечных плит / А.Н. Обливин, А.К. Воскресенский, Ю.П. Семёнов. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 192 с.
195. Обливин А.Н. Исследование термических свойств древесностружечных плит в зависимости от плотности, влажности, температуры в гигроскопической области / А.Н. Обливин, Б.А. Крылов // Производство древесных пластиков и плит, 1975. Вып. 9. – С. 37 - 40.
196. Обливин А.Н. Проницаемость древесностружечного пакета / А.Н. Обливин, А.З. Долгинцев // Лесной журнал, 1976. №2. – С. 77 - 81.

197. Обливин А.Н. Численные решения задачи тепломассопереноса во влажном пористом теле / А.Н. Обливин, В. М. Купцова // Инженерно-физический журнал, 1976. Т.XXX. №3. – С. 415 - 423.
198. Годунов С.К. Разностные схемы (введение в теорию) / С.К. Годунов, В.С. Рябенский. – М.: Наука, 1973. – 400 с.
199. Кирьянов Д.В. Mathcad – 12 / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 576 с.
200. Алексеев Е.Р. Mathcad – 12 / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова. – М.: NT Press, 2005. – 345 с.
201. Acetis J.D. Mass and heat transfer in flow of gases through spherical packings / Acetis J.D., G. Thodos // Industrial and engineering chemistry, 1960. Vol 52. №12. – P. 1003 - 1006.
202. Brandshow R.D. Heat and mass transfer in fixed and fluidized beds of large particles / R.D. Brandshow, I.E. Myers. Am. Ins. Ch. Eng., 1963. Vol. 9. - №5. P. 590 - 595.
203. Malling T. Analogy between mass and heat transfer in beds of spheres contributions clue to end effects / T. Malling // In. J. Heat mass transfer, 1967. №10. – P. 489 - 498.
204. Абросимов Н.А. Методика построения разрешающей системы уравнений динамического деформирования композитных элементов конструкций. Учебно – методическое пособие / Н.А. Абросимов. – Н. Новгород: ННГУ, 2010. – 40 с.
205. Ветошкин Ю.И. Общий подход к расчету напряженного деформированного состояния композиционного материала «Фанотрен Б» с защитными свойствами от рентгеновского излучения / Ю.И. Ветошкин, И.В. Коцюба, И.В. Яцун, С.А. Одинцева // Вестник Московского государственного института леса – Лесной вестник, 2007. №8. – С. 149-151.
206. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1965. – 856 с.

207. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962.- 536 с.
208. Ицкович Г.М. Сопротивление материалов / Г.М. Ицкович. – М.: Высшая школа, 1998. – 368 с.
209. Ветошкин Ю.И. Эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе древесины: монография / Ю.И. Ветошкин, И.В. Яцун, И.В. Коцюба. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. – 100 с.
210. Сидоров В.Н. Лекции по сопротивлению материалов и теории упругости / В.Н. Сидоров. – М.: РИЦ Генерального штаба Вооруженных Сил РФ, 2002. – 352 с.
211. Никифоров С.Н. Теория упругости и пластичности / С.Н. Никифоров. – М.: Стройиздат, 1955. – 284 с.
212. Жилкин В.А. Расчет шарнирно опертых прямоугольных пластин методом конечных разностей в MathCAD / В.А. Жилкин // АПК России, 2017. Том 24. №1. – С.119-129.
213. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Физматгиз, 1963. – 635 с.
214. Филоненко-Бородач М.М. Теория упругости и пластичности / М.М. Филоненко-Бородач. – М.: Физматгиз, 1959. – 364 с.
215. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин / С.А. Амбарцумян. – М.: Наука, 1967. – 266 с.
216. Гоц А.Н. Численные методы расчета в энергомашиностроении: учебное пособие в 2 ч. Ч.2 / А.Н. Гоц. – Владимир: Владим. гос.ун-т, 2013. – 182 с.
217. Каюмов Р.А. Основы теории упругости элементы теории пластин и оболочек / Р.А. Каюмов. – Казань: Казан. гос.архитект.-строит. ун-т, 2016. – 111 с.
218. Израелит А.Б. Теоретическое исследование напряженно - деформированного состояния фанеры после склеивания влажного шпона в вакуум-

- ных прессах /А.Б. Израелит, С.В. Денисов // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств, 182. №11. – С. 37 – 41.
219. Макарьяни Г.М. Основы метода конечных элементов: учебное пособие / Г.М. Макарьяни, А.Б. Прокопьев. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2013. – 80 с.
220. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела: учебное пособие / В.Г. Фокин. - Самара: Самар. гос. ун-т, 2010. – 131 с.
221. Справочное руководство по древесине / пер. с англ. - М.: Лесная промышленность, 1979. - 544 с.
222. Механические свойства аморфных сплавов. Режим доступа: <https://studwood.ru> (дата обращения 30.05.2019).
223. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х томах, Том 1. - 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. - М.: Машиностроение, 2001. - 920 с.
224. Karaman A. Stiffness analysis of knockdown bookcases with finite element method / A. Karaman // Journal of Bartın Faculty of Forestry, 2016. Vol. 18 №2 pp. 9-19. doi:10.240011/barofd.238179.
225. Ntintakis I. Furniture design optimization with FEA analysis / I. Ntintakis, V. Iakovakis, G. Ntalos, J. Kechagias // Conference on Current Issues in Global Furniture. Режим доступа <https://kipdf.com> (дата обращения 17.10.2019).
226. Imirzi H.O. Analysis of strength of corner joints in cabinet type furniture by using finite element method / H.O. Imirzi, H. Efe // Proceedings of the XXVIth International Conference for Furniture Industry, 2013. pp. 49-55.
227. ГОСТ 3158-75. Реактивы. Барий серноокислый. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1975.
228. Технические условия. Сплав Вуда. ТУ 6-09-4064-87. Режим доступа: <https://redmetsplav.ru> (дата обращения 07.07.2019).
229. Яцун И.В. Получение листового проката из легкоплавкого сплава Вуда для армирования рентгенозащитного материала на основе древесины /

- И.В. Яцун, Ю.И. Ветошкин // Леса России и хозяйство в них, 2013. №4-47. – С.94-95.
230. Смирягин А.П. Оловянистые бронзы, боббиты, припои и их заменители // А.П. Смирягин, А.И. Шпагин. – М.: Металлургиздат, 1949. – 494 с.
231. Галдин И.М. Справочник по цветному литью / И.М. Галдин, Д.Ф. Черняга, Д.Ф. Иванчук и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
232. Каталог Jowat Иваколь. Режим доступа <http://www.tk-eurosnab.com> (дата обращения 07.07.2019).
233. Технические условия. Смола карбамидоформальдегидная марки КФ-МТ-15 (М). ТУ 2423-003-79102376-2006. Режим доступа: <https://e-ecolog.ru> (дата обращения 07.07.2019).
234. ГОСТ 2210-73. Аммоний хлористый. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
235. Порошковые клеи для дверей и мебели. Режим доступа <https://www.wikipro.ru> (дата обращения 07.07.2019).
236. ГОСТ Р 57027-2016. Полотно нетканое термоскрепленное объемное синтетическое. Общие технические условия. Режим доступа <http://docs.cntd.ru> (дата обращения 07.07.2019).
237. ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная. Технические условия. Режим доступа <http://docs.cntd.ru> (дата обращения 07.07.2019).
238. ГОСТ 7016-82. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
239. ГОСТ 17743-86. Технология деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
240. ГОСТ 18110-72. Плиты древесностружечные. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
241. ГОСТ 19506-74. Производство плит древесностружечных. Оборудование и инструменты. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1980.

242. ГОСТ 22246-78. Древесина измельченная. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
243. ГОСТ 27935-88. Плиты древесноволокнистые и древесностружечные. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
244. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
245. ГОСТ 16483.1-84. Древесина. Метод определения плотности. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
246. ГОСТ 16483.3-84. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
247. ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
248. ГОСТ 16483.14-72. Древесина. Методы определения на разбухание. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
249. ГОСТ 16483.17-81. Древесина. Метод определения статической твердости. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
250. ГОСТ 16483.20-72. Древесина. Метод определения водопоглощения. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
251. ГОСТ 18320-78. Опилки древесные технологические для гидролиза. Технические условия. – М., 1988.
252. ГОСТ 5244-79. Стружка древесная. Технические условия. М, 1988.
253. ГОСТ 10632-89. Плиты древесностружечные. Технические условия. – М., 1988.
254. ГОСТ 12431-72. Сырье древесное для масс древесных прессовочных. Технические условия. – М., 1988.
255. ГОСТ 9620-72. Древесина слоистая клееная. Отбор образцов и общие требования при испытании. – М.: Изд-во стандартов, 1978.

256. ГОСТ 9621-72. Древесина слоистая клееная. Методы определения физических свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
257. ГОСТ 9625-87. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
258. ГОСТ 9627.1-75. Древесина слоистая клееная. Метод определения твердости. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
259. ГОСТ 9624-2000. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании. – М.: Изд-во стандартов, 1994.
260. ГОСТ 9622-87 (СТ СЭВ 2377-80). Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при растяжении. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
261. ГОСТ 10633-78. Плиты древесностружечные. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
262. ГОСТ 10634-88. Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
263. ГОСТ 10635-88. Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
264. ГОСТ 10636-90. Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности при растяжении пласти плиты. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
265. ГОСТ 10637-78. Плиты древесностружечные. Метод определения удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
266. ГОСТ 11842-76. Плиты древесностружечные. Метод определения ударной вязкости. – М.: Изд-во стандартов, 1980.

267. ГОСТ 11843-76. Плиты древесностружечные. Метод определения твердости. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
268. ГОСТ 13338-86. Древесина модифицированная. Метод определения твердости, временных упругой и остаточной деформаций. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
269. ГОСТ 15612-85. Изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения параметров шероховатости поверхности. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
270. ГОСТ 27678-88. Плиты древесностружечные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
271. ГОСТ 27680-88. Плиты древесностружечные и древесноволокнистые. Методы контроля замеров и формы. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
272. ГОСТ 30255-95. Мебель, древесные и полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах. – М.: Стандартиформ, 2007.
273. Уголев Б.Н. Испытания древесины и древесных материалов / Б.Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 250 с.
274. Григорьев И.С. Справочник по физическим величинам / И.С. Григорьев, В.З. Михайлов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
275. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод определения твердости по Бринеллю. – М.: Стандартиформ, 2007.
276. Пижурин А.А. Исследования процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 140 с.
277. Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов ЦБП / Р.З. Пен. – Красноярск: Изд. Красноярского университета, 1982. – 191 с.

278. Лисовская Г.П. Планирование эксперимента в технологии стекла. Учебное пособие / Г.П. Лисовская. – М.: Моск. хим.-технол. ин-т Д.И. Менделеева, 1979. – 48 с.
279. Рузинов Л.П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / Л.П. Рузинов, Р.И. Слбодчакова. – М.: Химия, 1980. – 280 с.
280. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
281. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.
282. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Наука, 1981. – 263 с.
283. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
284. Винарский М.С. Планирование экспериментов в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Техника, 1975. – 168 с.
285. Пижурич А.А. Современные методы исследования технологических процессов в деревообработке / А.А. Пижурич. – М.: Ленская промышленность, 1972. – 248 с.
286. Билей П.В. Основы научных исследований технологических процессов деревообработки / П.В. Билей, Л.А. Никитюк. – Киев: Вильна Украина, 1986. – 109 с.
287. Батунер Л.М. Математические методы в химической технике / Л.М. Батунер, М.Е. Позин. – М.: Химия, 1968. – 824 с.
288. Перепелицкий С.Н. Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении на предприятиях лесной промышленности / С.Н. Перепелицкий. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 360 с.
289. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976.

290. Андреев В.Н. Математическое планирование экспериментов / В.Н. Андреев. Л.: РИО ЛТА, 1982. – 40 с.
291. Андреев В.Н. Выбор и обоснование критериев и показателей эффективности при оптимальном проектировании лесных машин / В.Н. Андреев, Э.М. Гусейнов // Машины и оборудование для механизации лесозаготовок и лесного хозяйства / Межвузовский сб. научн. трудов. Л.: РИО ЛТА, 1981. – Вып.10. – С.12-15.
292. Андреев В.Н. Принятие оптимальных решений: теория и применение в лесном комплексе / В. Н. Андреев, Ю.Ю. Герасимов. Финляндия: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1999. – 200 с.
293. Соболев Б.В. Методы оптимизации: практикум / Б.В. Соболев, Б.Ч. Месхи, Г.И. Каньгин. Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. - 380 с.
294. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических производств / Л.П. Рузинов. М.: Химия, 1972. – 200 с.
295. Пижурин А.А. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. М.: Лесная промышленность, 1988. – 296 с.
296. Грот М. Оптимальные статистические решения / М. Грот. М.: Мир, 1974. – 492 с.
297. Карякина М.И. Лабораторный практикум по техническому анализу и контролю производства лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. М.: Химия, 1989. – 208 с.
298. Гармаш А.Н. Математические методы в управлении / А.Н. Гармаш, И.В. Орлова. М.: ИНФРА-М, 2013. – 272 с.
299. Зайцев М.Г. Методы оптимизации управления для менеджеров: Компьютерно-ориентированный подход: Учебное пособие / М.Г. Зайцев. М.: Дело, 2002. – 304 с.
300. Моделирование в электроэнергетике. Метод приведенного градиента даты обращения. Режим доступа <http://simenergy.ru> (дата обращения 19.07.2019).

301. Дворецков Г.В. О проблемах склеивания материалов в мебельных и столярных производствах / Г.В. Дворецков // Все о мебели. 2002. №11. – С. 72 -75.
302. Пат. 1711039 СССР, МПК G 01 N 15/08. Способ исследования структуры порового пространства / Ветошкин Ю.И., Повод Г.А.; заявитель и патентообладатель Уральский лесотехнический институт им. Ленинского комсомола. - № 4802026/25.
303. Яцун И.В. Исследование процесса сушка армирующего слоя рентгенозащитного композиционного материала на основе древесины / И.В. Яцун, С.Б. Шишкина, С.В. Совина // Леса России и хозяйство в них, 2014. №1. – С.64-67.
304. Блумберг В.А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов / В.А. Блумберг, В.Ф. Глушенко. – Л.: Лениздат, 1982. – 160 с.
305. Яцун И.В. Математическое моделирование. Методические указания по лабораторному практикуму направления 250400.68 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» профиль «Технология деревообработки» / И.В. Яцун. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. – 74 с.

**Таблица значений корреляционных функций реализации шероховатой поверхности лушеного шпона
и аппроксимирующей корреляционной функции**

номер	ордината											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
1	1	0,31031	0,25656	0,18998	0,1245	0,06933	0,03026	0,00592	-0,0103	-0,0233	-0,0328	-0,0348
2	1	0,34158	0,28447	0,21459	0,14571	0,08785	0,04682	0,02114	0,00301	-0,01243	-0,02537	-0,03128
3	1	0,24412	0,22364	0,21202	0,20433	0,19655	0,18644	0,17478	0,16221	0,14857	0,13299	0,11637
4	1	0,23253	0,20941	0,18914	0,17285	0,16104	0,15472	0,15531	0,14952	0,13967	0,12797	0,11364
5	1	0,18217	0,16591	0,15036	0,13856	0,12799	0,11723	0,10455	0,09064	0,07718	0,06667	0,05608
6	1	0,28722	0,21558	0,13856	0,07276	0,00814	-0,01566	-0,03203	-0,04743	-0,05617	-0,05826	-0,04575
7	1	0,35386	0,26825	0,18098	0,11035	0,07536	0,05586	0,06444	0,08311	0,10887	0,11613	0,09021
8	1	0,12474	0,09994	0,08113	0,06825	0,05591	0,04729	0,04303	0,03697	0,03176	0,02943	0,02754
9	1	0,10051	0,06646	0,03252	0,0108	0,00129	-0,0075	-0,01532	-0,02907	-0,03806	-0,0365	-0,02803
10	1	0,10461	0,07207	0,03976	0,01385	-0,00802	-0,0242	-0,0318	-0,03216	-0,02303	-0,01971	-0,01669
11	1	0,18981	0,16448	0,13862	0,10921	0,08563	0,06802	0,05453	0,04563	0,0364	0,02796	0,01934
12	1	0,18583	0,14617	0,09936	0,04871	-0,0022	-0,04827	-0,08184	-0,09311	-0,09343	-0,08871	-0,07496
13	1	0,16865	0,15292	0,14164	0,12826	0,11093	0,0916	0,07449	0,05429	0,02931	0,04111	-0,01182
14	1	0,18227	0,15431	0,12644	0,10097	0,07791	0,05696	0,03032	-0,00092	-0,02976	-0,04837	-0,05917
15	1	0,21487	0,17704	0,13822	0,10351	0,07484	0,05426	0,04053	0,02945	0,02118	0,01665	0,00816
16	1	0,98766	0,84524	0,76514	0,68507	0,60618	0,52942	0,45556	0,38543	0,31936	0,25777	0,20098
номер	ордината											
	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
1	-0,063	-0,0928	-0,1148	-0,1292	-0,1311	-0,1271	-0,1055	-0,0767	-0,0446	-0,0179	0,0239	0,02459
2	-0,05815	-0,09059	-0,11215	-0,12575	-0,12593	-0,1212	-0,0981	-0,0658	-0,02896	0,00359	0,06107	0,05756
3	-0,00621	-0,01544	-0,02331	-0,02998	-0,03477	-0,03877	-0,04793	-0,0648	-0,07575	-0,08179	-0,24364	-0,09804
4	0,00568	-0,00206	-0,0231	-0,0407	-0,05386	-0,06295	-0,06851	-0,07026	-0,0793	-0,092	-0,16827	-0,13046
5	-0,11576	-0,12108	-0,12911	-0,13666	-0,14144	-0,14361	-0,1415	-0,13996	-0,13714	-0,1298	-0,07586	-0,1307
6	0,01291	-0,0078	-0,0029	-0,01368	-0,0156	-0,01544	-0,04603	-0,08414	-0,13278	-0,1888	-0,17037	-0,25071
7	-0,16131	-0,15128	-0,12349	0,09982	-0,09132	-0,09377	-0,11673	-0,1493	-0,18135	-0,0142	0,06455	-0,19066
8	-0,01749	-0,00525	0,00073	0,00209	0,00728	0,011995	0,01024	0,00531	0,0065	-0,0038	-0,04162	-0,05239
9	-0,02342	-0,02659	-0,0322	-0,0347	-0,03285	-0,02236	0,010596	0,03688	0,06678	0,09329	0,02843	0,05328
10	0,00165	0,00752	0,00912	0,00192	-0,00994	-0,01147	-0,01004	-0,0074	-0,00357	-0,00327	0,09827	0,00249
11	-0,06033	-0,04939	-0,04898	-0,0484	-0,04465	-0,04409	-0,04843	-0,05379	-0,05711	-0,0624	-0,06824	-0,07041
12	0,03771	0,03708	0,02885	0,02004	0,01587	0,01643	0,021696	0,03547	0,05122	0,06589	0,13585	0,09072
13	-0,08092	-0,07442	-0,06744	-0,05334	-0,03935	-0,03431	-0,02607	-0,01627	-0,01063	-0,0085	0,04075	-0,01012
14	-0,04493	-0,04334	-0,04293	-0,04144	-0,03708	-0,0266	-0,01326	-0,00123	0,00955	0,02267	-0,01804	0,05516
15	-0,04097	-0,04427	-0,04869	-0,03785	-0,05248	-0,05095	-0,04854	-0,04657	-0,04408	-0,04406	-0,0238	-0,04667
16	-0,12485	-0,12596	-0,12512	-0,12259	-0,11866	-0,11866	-0,10752	-0,10078	-0,09351	-0,08589	-0,0781	-0,07025
номер	ордината											
	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118
1	-0,076	-0,0972	-0,1041	-0,1071	-0,0966	-0,0762	-0,0457	-0,0034	0,04517	0,10869	0,1238	0,13726
2	0,01388	-0,01127	-0,0144	-0,01	0,01311	0,04927	0,09806	0,15956	0,22635	0,29727	0,32044	0,32499
3	-0,26927	-0,25448	-0,2451	-0,27026	-0,2967	-0,31802	-0,33266	-0,34342	-0,35347	-0,35834	-0,38059	-0,39257
4	-0,29097	-0,30089	-0,2988	-0,2866	-0,26751	-0,26485	-0,25299	-0,23556	-0,22243	-0,18653	-0,16935	-0,15632
5	0,01921	0,04475	0,06881	0,0717	0,06855	0,06349	0,0559	0,04732	0,05156	0,07655	0,09141	0,10742
6	-0,0024	-0,02752	-0,06101	-0,0978	-0,1248	-0,14821	-0,1611	-0,19544	-0,22052	-0,2101	-0,18502	-0,10018
7	0,06821	0,00619	0,03572	0,0401	0,06889	0,12069	0,1649	0,2276	0,2621	0,32618	0,30261	0,23913
8	-0,0851	-0,08643	-0,0772	0,0644	-0,04876	-0,05235	-0,0592	-0,06643	-0,07422	-0,07323	-0,05911	-0,0356
9	-0,02852	0,0069	0,00762	0,00525	-0,00205	-0,01652	-0,0247	-0,0267	-0,02998	-0,04789	-0,04893	-0,04906
10	-0,05399	-0,0565	-0,0641	-0,0715	-0,06756	-0,06795	-0,0621	-0,0224	0,03754	0,15364	0,18598	0,16822
11	-0,00898	-0,0137	-0,0223	-0,032	-0,03684	-0,03592	-0,04101	-0,05908	-0,0838	-0,12464	-0,14406	-0,16755
12	-0,05122	-0,0155	0,00199	0,0274	0,0532	0,07091	0,0853	0,10774	0,16378	0,18582	0,15426	0,11286
13	-0,0118	0,00032	0,01391	0,02904	0,04051	0,0411	0,04189	0,05474	0,06884	0,07857	0,08231	0,08205
14	-0,05137	-0,0148	-0,02051	-0,006	0,0022	0,00933	0,00638	-0,00664	-0,01855	-0,03495	-0,0346	-0,04091
15	-0,05916	-0,06052	-0,05567	-0,04603	-0,0496	-0,04466	-0,03764	-0,02586	-0,01055	0,01365	0,01748	0,016412
16	0,00251	0,00497	0,00701	0,00868	0,0099	0,01098	0,01167	0,0121	0,0123	0,01229	0,01211	0,01178

Таблица значений корреляционных функций реализации шероховатой поверхности лущеного шпона и аппроксимирующей корреляционной функции

номер профилог раммы	ордината											
	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
1	-0,0404	-0,0479	-0,057	-0,0582	-0,0543	-0,0446	-0,032	-0,0182	-0,0112	-0,015	-0,0229	-0,0425
2	-0,04078	-0,05098	-0,0614	-0,06276	-0,05698	-0,04428	-0,02816	-0,01094	-0,00093	-0,00344	-0,01126	-0,03433
3	0,10499	0,09971	0,08672	0,07498	0,0641	0,0524	0,0379	0,03062	0,02679	0,01903	0,01035	0,0014
4	0,09518	0,07923	0,06644	0,05839	0,05394	0,04858	0,03911	0,02268	0,01734	0,01484	0,01325	0,01116
5	0,04501	0,03705	0,02876	0,01699	0,001957	-0,01308	-0,02739	-0,04344	-0,06202	-0,08593	-0,10107	-0,11012
6	-0,02245	0,00894	0,04913	0,07798	0,09426	0,08042	0,05603	0,02133	0,00636	-0,00422	-0,00188	0,00984
7	0,04121	-0,00769	-0,03246	-0,05076	-0,05387	-0,03743	-0,01927	-0,01419	-0,02595	-0,05559	-0,10371	-0,14373
8	0,02455	0,02921	-0,02004	0,01271	0,00271	0,00048	0,00107	-0,00182	-0,01123	-0,0191	-0,02342	-0,02393
9	-0,0249	-0,02506	-0,03065	-0,0261	-0,01914	-0,01659	-0,01201	-0,01026	-0,02004	-0,01799	-0,0155	-0,01662
10	-0,01548	-0,01588	-0,01731	-0,01972	-0,01944	-0,0154	-0,0064	0,00576	0,01447	0,01074	0,00528	-0,00004
11	0,00865	-0,00028	-0,00791	-0,02093	-0,03953	-0,05775	-0,0768	-0,08497	-0,08817	-0,08592	-0,07916	0,06922
12	-0,06082	-0,04227	-0,03097	-0,03748	-0,04035	-0,0363	-0,02746	-0,01417	-0,00099	0,01507	0,02925	0,03368
13	-0,03793	-0,05596	-0,07117	-0,08237	-0,09058	-0,09886	-0,10703	-0,10829	-0,10647	-0,10416	-0,10058	-0,09119
14	-0,06485	-0,06898	-0,07067	-0,07317	-0,06832	-0,05593	-0,04847	-0,04804	-0,051	-0,0536	-0,05595	-0,04998
15	0,00086	-0,00435	-0,00918	-0,0136	-0,0161	-0,01702	-0,01792	-0,01957	-0,02236	-0,02752	-0,03239	-0,02764
16	0,1491	0,10222	0,06032	0,02333	-0,00894	-0,03662	-0,05997	-0,07925	-0,09473	-0,10673	-0,11554	-0,12147
номер профилог раммы	ордината											
	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94
1	0,02965	0,03225	0,0211	-0,0054	-0,0468	-0,0888	-0,1257	-0,01438	-0,1345	-0,1106	-0,0815	-0,0708
2	0,06609	0,07491	0,07099	0,05251	0,01859	-0,11679	-0,0493	-0,06376	-0,04901	-0,02041	0,01286	0,02237
3	-0,10892	-0,12443	-0,14164	-0,15011	-0,15219	-0,15639	-0,1671	-0,18188	-0,19568	-0,20838	-0,2217	-0,24712
4	-0,15132	-0,16548	-0,17508	-0,18367	-0,18812	-0,18241	-0,18523	-0,19312	-0,20544	-0,22257	-0,25122	-0,27379
5	-0,1367	-0,14011	-0,13852	-0,13	-0,1242	-0,11557	-0,09811	-0,0797	-0,0591	-0,04002	-0,02218	-0,00454
6	-0,22884	-0,19458	-0,16743	-0,13904	-0,1096	-0,07846	-0,03658	0,01697	0,05723	0,07709	0,06118	0,03109
7	-0,16964	-0,16761	-0,19096	-0,22185	-0,2613	-0,29037	-0,31461	-0,29106	-0,22004	-0,13192	-0,0311	0,03116
8	-0,06372	-0,06892	-0,07427	-0,08441	-0,0953	-0,09639	-0,09207	-0,08697	-0,08196	-0,0744	-0,07183	-0,07713
9	0,03458	0,02582	0,02492	0,01748	0,01123	-0,00683	-0,02613	-0,02631	-0,00843	-0,00434	-0,00793	-0,01984
10	0,00608	0,01179	0,0222	0,02792	0,01402	-0,00466	-0,02957	-0,04523	-0,05418	-0,06184	-0,06219	-0,0596
11	-0,05599	-0,04026	-0,0137	0,015548	0,03384	0,04115	0,04366	0,03054	0,01802	0,00017	-0,01297	-0,00103
12	0,0743	0,05047	0,01013	-0,03767	-0,09147	-0,14739	-0,17019	-0,16995	-0,1676	-0,15681	-0,13258	-0,09874
13	-0,01437	-0,02032	-0,02281	-0,0228	-0,02056	-0,02202	-0,02457	-0,02205	-0,01714	-0,0209	-0,02918	-0,02357
14	0,06199	0,06482	0,05796	0,043905	0,03147	0,02121	0,01065	-0,00527	-0,02096	-0,03402	-0,04502	-0,05046
15	-0,04691	-0,04726	-0,05122	-0,02839	-0,07002	-0,08169	-0,09034	-0,08087	-0,08134	-0,07207	-0,06395	-0,06014
16	-0,06248	-0,05487	-0,04753	-0,04051	-0,03387	-0,02767	-0,02191	-0,01663	-0,01185	-0,00755	-0,00373	-0,00038
номер профилог раммы	ордината											
	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	-
1	0,14323	0,15446	0,17695	0,2053	0,24767	0,27962	0,29414	0,27814	0,2913	0,20437	0	-
2	0,32606	0,33354	0,35737	0,39141	0,44566	0,48635	0,50241	0,47539	0,43803	0,34121	0	-
3	-0,40825	-0,4022	-0,37903	-0,36918	-0,35609	-0,32187	-0,26249	-0,17369	0,00778	-0,0124	0	-
4	-0,14005	-0,11492	-0,08148	-0,05518	-0,03013	0,00484	0,04176	0,09441	0,13997	0,15737	0	-
5	0,11815	0,12463	0,13235	0,14903	0,16179	0,17394	0,18689	0,204882	0,1924	0,1443	0	-
6	0,00286	0,0717	0,17852	0,32834	0,47162	0,64554	0,72492	0,82673	0,81003	0,66415	0	-
7	0,1667	0,18473	0,18669	0,20447	0,24089	0,34303	0,50556	0,59043	0,5959	0,42411	0	-
8	-0,0039	0,03342	0,032011	0,01209	-0,02721	-0,08537	-0,14789	-0,24154	-0,28182	-0,2492	0	-
9	-0,04332	-0,01037	0,00893	0,019172	0,01564	0,02735	0,04568	0,05283	0,02432	-0,0089	0	-
10	0,13087	0,06868	0,015134	-0,02803	-0,05576	-0,05454	-0,04482	-0,02439	-0,02211	-0,00673	0	-
11	-0,11835	-0,06542	-0,0158	0,04253	0,05916	0,04435	0,03647	0,04231	0,05415	0,04251	0	-
12	0,05776	0,019353	-0,06965	-0,12643	-0,16242	-0,19101	-0,2309	-0,23825	-0,22682	-0,18139	0	-
13	0,07876	0,06888	0,06121	0,06572	0,06399	0,05318	0,04245	0,03239	0,02433	0,01093	0	-
14	-0,04615	-0,05414	-0,05649	-0,06623	-0,08836	-0,10032	-0,10637	-0,12188	-0,1116	-0,09763	0	-
15	0,02103	0,02945	0,03905	0,055216	0,07046	0,09322	0,1132	0,12841	0,13598	0,10234	0	-
16	0,01133	0,01077	0,01014	0,00945	0,00872	0,00796	0,00719	0,00643	0,00567	0,00494	0,00424	-

Приложение 2

Результаты эксперимента по обработке профилограмм, полученных
с поверхности березового лущенного шпона

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Δl_i	Номер участка							Δl_i	η_{s_i}	ε_i
2	a_i	1	2	3	4	5	6	7			
3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0,003	0
4	1	0	0	2	0	11	0	0	13	0,013	0,05
5	2	4	1	3	0	24	4	0	36	0,036	0,1
6	3	7	6	4	0	34	5	0	56	0,056	0,15
7	4	9	17	9	4	36	10	3	88	0,088	0,2
8	5	11	21	22	13	39	11	4	121	0,121	0,25
9	6	18	37	23	17	61	11	6	173	0,173	0,3
10	7	26	39	24	21	68	12	6	196	0,196	0,35
11	8	32	65	26	42	93	14	14	286	0,286	0,4
12	9	34	79	31	44	95	17	21	321	0,321	0,45
13	10	43	98	35	45	100	20	29	370	0,37	0,5
14	11	54	100	37	54	97	25	35	402	0,402	0,55
15	12	59	100	49	55	101	29	40	433	0,433	0,6
16	13	64	101	50	72	105	46	42	480	0,48	0,65
17	14	73	102	80	97	113	52	48	565	0,565	0,7
18	15	79	102	96	106	122	67	64	636	0,636	0,75
19	16	100	107	124	125	125	87	85	753	0,753	0,8
20	17	111	109	138	133	125	110	107	833	0,833	0,85
21	18	126	120	138	135	127	120	130	896	0,896	0,9
22	19	128	130	139	137	129	125	133	921	0,921	0,95
23	20	140	140	140	140	140	140	140	980	0,98	1

Приложение 3

Расчет толщины защитного слоя из сплава Вуда и величины его линейных коэффициентов ослабления

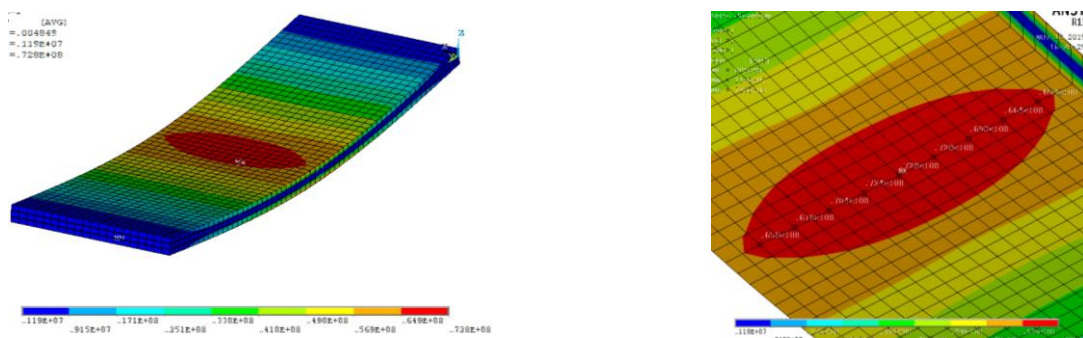
Крат. ослаб. k	Свинц. экв, см.	μ^{Pb} , см ⁻¹	μ_m^{Pb} , см ² /Г	$\lambda, \text{Å}$	μ_m^{Bi} , см ² /Г	μ_m^{Cd} , см ² /Г	μ_m^{Sn} , см ² /Г	$\mu_m^{Вуд}$, см ² /Г	$\mu^{Вуд}$, см ⁻¹	Толщина фольги, см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Рабочее напряжение 50 кэВ										
3	0,002	549	48,7	0,27	51	10	13	40,58	393,6	0,0028
7	0,05	389	34,3	0,234	37	7,5	8,6	29,11	282,4	0,0069
10	0,006	384	33,9	0,23	32	7,3	8,4	26,44	256,5	0,009
15	0,008	339	29,9	0,228	31	6,8	8,0	24,83	240,9	0,011
20	0,009	333	29,4	0,225	30	6,5	7,5	24,1	233,8	0,013
25	0,01	322	28,4	0,223	29	6,3	7,3	23,3	226,01	0,014
30	0,011	309	27,2	0,22	28	6,1	7,2	22,46	217,9	0,016
40	0,012	307	27,1	0,217	27,5	6,0	7,1	22,17	215,05	0,017
50	0,013	303	26,7	0,216	27,3	5,9	7,0	22,04	213,79	0,019
70	0,014	301	26,5	0,215	27	5,8	6,8	21,71	210,59	0,02

Продолжение приложения 3

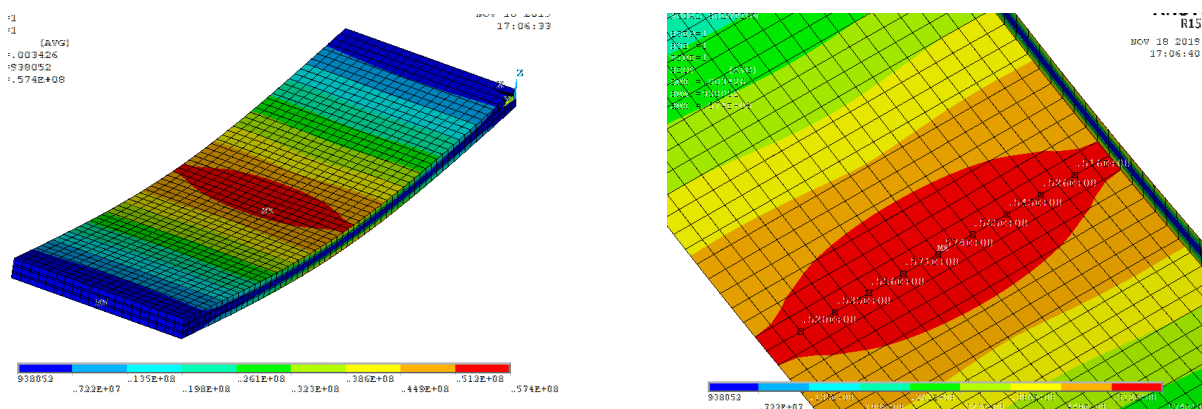
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	0,016	288	25,4	0,21	26	5,6	6,5	20,86	202,34	0,023
Рабочее напряжение 75 кВ										
3	0,005	220	19,4	0,2	22	5,5	4,8	17,14	166,26	0,007
7	0,011	177	15,6	0,175	18	3,8	4,4	13,93	135,1	0,014
10	0,014	164,5	14,5	0,17	16	3,4	4,0	12,56	121,8	0,019
15	0,017	159	14,0	0,168	15,5	3,2	3,4	12,1	117,4	0,023
20	0,02	150	13,2	0,165	14	3,1	3,3	11,1	107,7	0,028
25	0,022	146	12,9	0,16	13,5	3,0	3,25	10,8	104,4	0,031
30	0,024	142	12,5	0,159	13	2,9	3,2	10,39	100,8	0,033
40	0,028	132	11,6	0,158	12,5	2,8	3,15	9,89	95,9	0,036
50	0,031	126	11,1	0,157	12	2,7	3,0	9,49	92,05	0,042
70	0,036	118	10,4	0,156	11,5	2,6	2,95	9,03	87,59	0,049

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	0,041	112	9,9	0,155	11	2,5	2,9	8,66	84,0	0,058
Рабочее напряжение 100 кэВ										
3	0,01	110	9,7	0,148	10	1,9	2,2	7,91	76,7	0,014
7	0,021	93	8,2	0,143	9,5	1,8	2,1	7,27	70,5	0,028
10	0,025	92	8,1	0,14	8,5	1,7	2,0	6,69	64,5	0,035
15	0,031	87	7,7	0,138	8,0	1,65	1,95	6,38	61,9	0,044
20	0,037	81	7,1	0,135	7,4	1,6	1,8	5,91	57,3	0,052
25	0,042	77	6,8	0,133	7,3	1,5	1,7	5,75	55,8	0,058
30	0,045	76	6,7	0,131	7,2	1,45	1,65	5,67	55,0	0,062
40	0,052	71	6,3	0,127	7,0	1,3	1,55	5,44	52,8	0,07
50	0,058	67	6,0	0,125	6,5	1,25	1,5	5,09	49,4	0,079
70	0,068	62	5,5	0,123	6,0	1,15	1,4	4,69	45,5	0,093
100	0,08	58	5,1	0,12	5,5	1,1	1,3	4,25	41,2	0,11

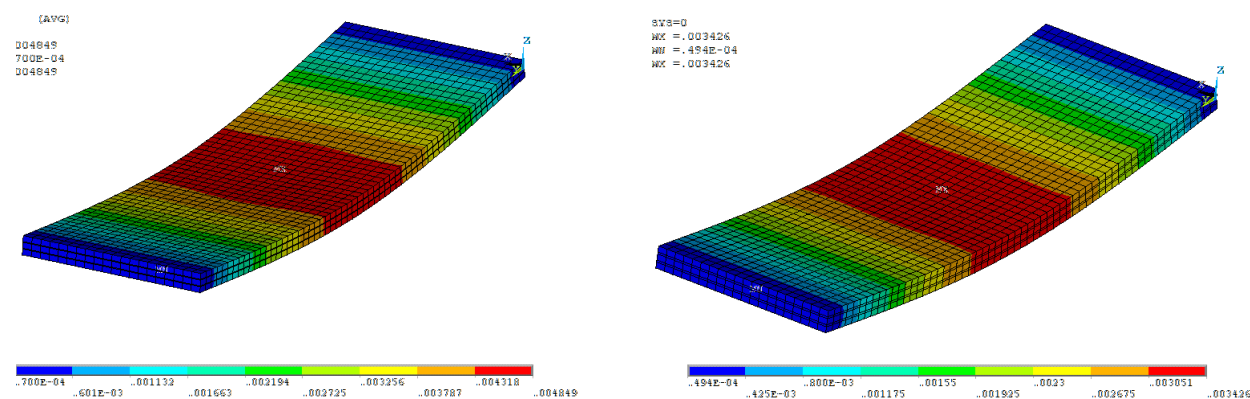
Результаты расчета образцов материалов в виде полей напряжений по фон Мизесу для материала «Фанотрен А»



Поле напряжений при толщине фольги 0,2 мм, максимальное напряжение 72,8 МПа



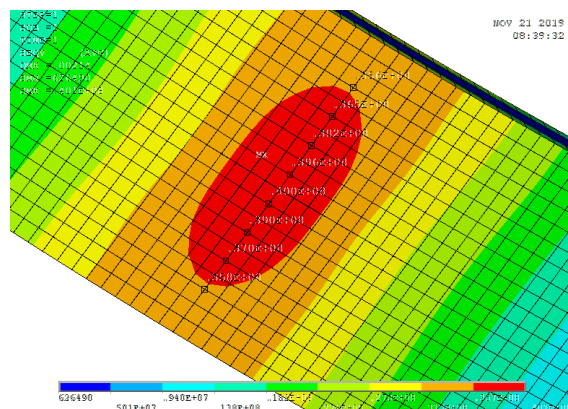
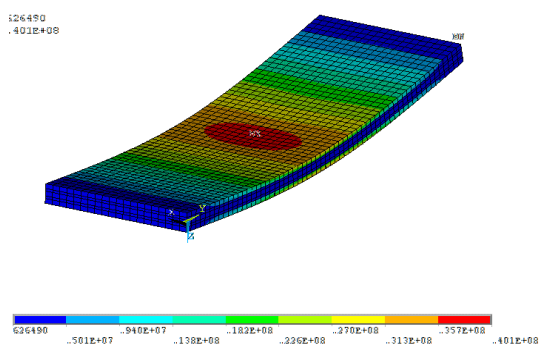
Поле напряжений при толщине фольги 0,5 мм, максимальное напряжение 57,4 МПа



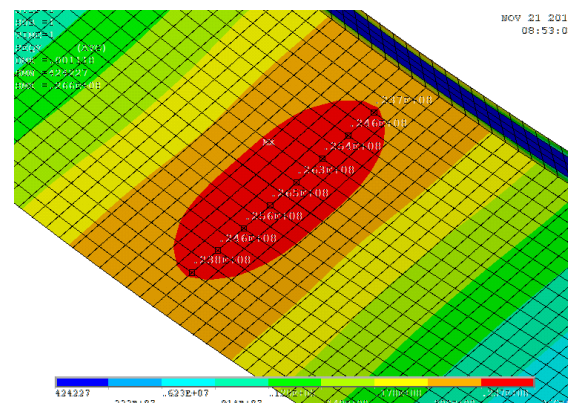
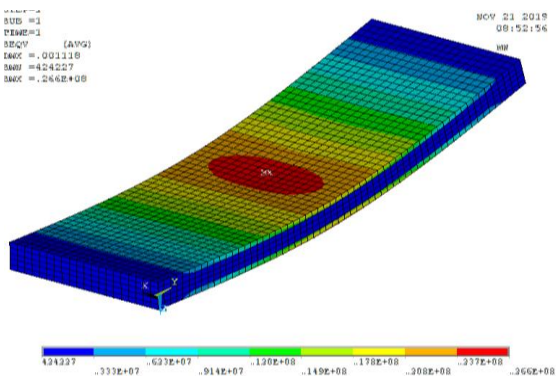
Поля перемещений образца при толщине фольги 0,2 мм, максимальный прогиб 4,8 мм

Поля перемещений образца при толщине фольги 0,5 мм, максимальный прогиб 3,4 мм

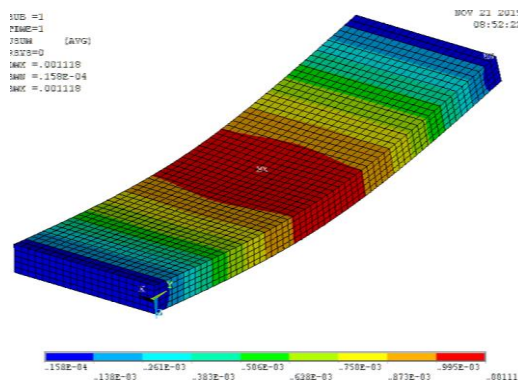
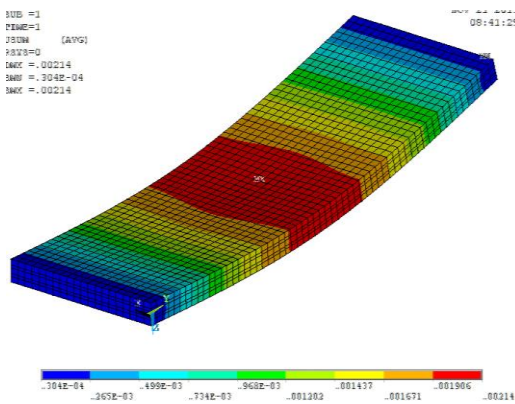
Результаты расчета образцов материалов в виде полей напряжений по фон Мизесу для материала «Фанотрен Б»



Поля напряжения при толщине слоя РЗС 0,8 мм, максимальное напряжение 40,1 МПа



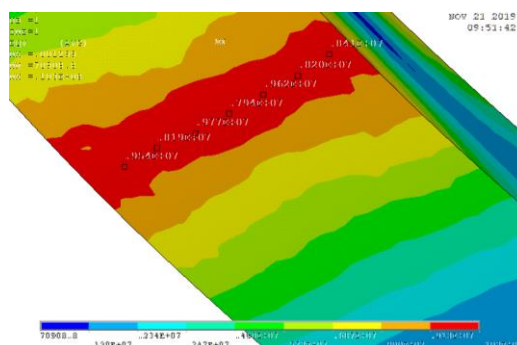
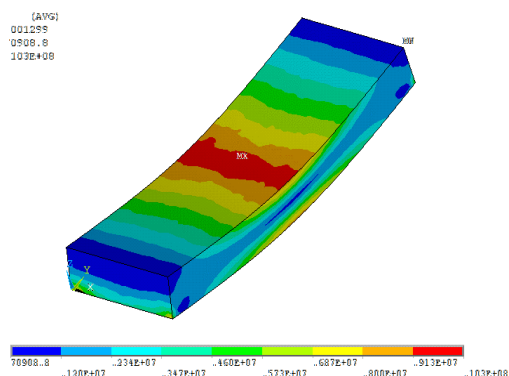
Поля напряжения при толщине слоя РЗС 1,7 мм, максимальное напряжение 26,6 МПа



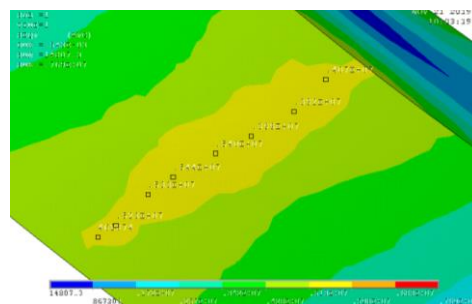
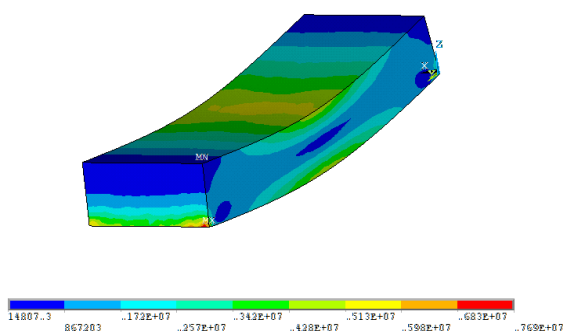
Поля перемещений образца при толщине слоя РЗС 0,8 мм, максимальный прогиб 2,1 мм

Поля перемещений образца при толщине слоя РЗС 1,7 мм, максимальный прогиб 1,1 мм

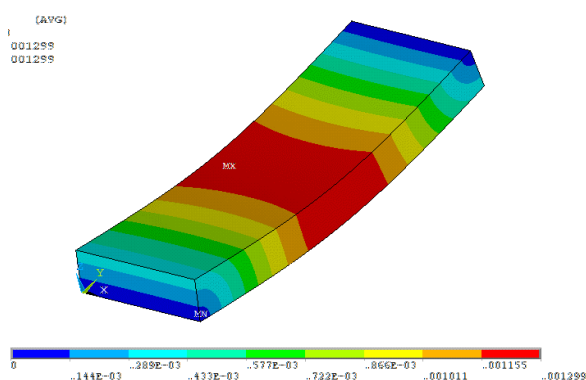
Результаты расчета образцов материалов в виде полей напряжений по фон Мизесу для материала «Плитотрен»



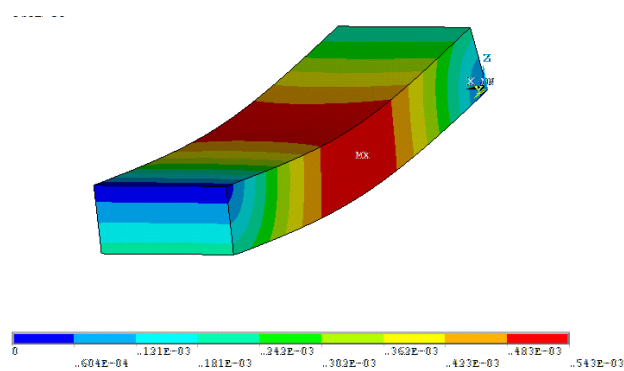
Поля напряжения при толщине плиты 16 мм, максимальное напряжение 10,3 МПа



Поля напряжения при толщине плиты 22 мм, максимальное напряжение 5,3 МПа



Поля перемещений образца при толщине плиты 16 мм, максимальный прогиб 1,3 мм



Поля перемещений образца при толщине плиты 22 мм, максимальный прогиб 0,54 мм

Приложение 7

Приложение 7																		
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при скалывании по клевоому слою материала "Фанатрен А"																		
№	План эксперимента			Управляющие факторы			Управляемые параметры						y ^{ср}	s ²	y ^{н.ср}	S _{ан.}	(y ^{ср} -y ^{н.ср}) ²	
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	1	2	3	4	5	6						
1	120	4,5	6	1	1	1	0,27	0,27	0,29	0,29	0,25	0,28	0,28	0,28	0,0011	0,1722	0,0106	0,0105
2	60	4,5	6	-1	1	1	0,46	0,47	0,45	0,47	0,5	0,51	0,48	0,0018	0,3998	0,0059	0,0098	
3	120	3,5	6	1	-1	1	0,41	0,41	0,43	0,46	0,4	0,44	0,43	0,0024	0,3308	0,0089	0,0023	
4	60	3,5	6	-1	-1	1	0,67	0,63	0,71	0,62	0,66	0,65	0,66	0,0051	0,5927	0,0041	0,0779	
5	120	4,5	4	1	1	-1	0,22	0,23	0,25	0,19	0,18	0,2	0,21	0,0034	0,2757	0,0041	0,0275	
6	60	4,5	4	-1	1	-1	0,21	0,19	0,21	0,2	0,19	0,21	0,20	0,0004	0,2958	0,0089	0,0309	
7	120	3,5	4	1	-1	-1	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,26	0,0001	0,3402	0,0059	0,0130	
8	60	3,5	4	-1	-1	-1	0,28	0,31	0,29	0,3	0,26	0,31	0,29	0,0016	0,3945	0,0106	0,0074	
9	120	4,0	5	1	0	0	0,26	0,32	0,3	0,28	0,3	0,27	0,29	0,0022	0,3445	0,0032	0,0080	
10	60	4,0	5	-1	0	0	0,53	0,55	0,55	0,55	0,56	0,51	0,54	0,0009	0,4855	0,0032	0,0270	
11	90	4,5	5	0	1	0	0,36	0,33	0,32	0,35	0,33	0,34	0,34	0,0011	0,3598	0,0005	0,0015	
12	90	3,5	5	0	-1	0	0,53	0,48	0,52	0,51	0,53	0,49	0,51	0,0019	0,4885	0,0005	0,0176	
13	90	4,0	6	0	0	1	0,58	0,6	0,6	0,58	0,61	0,56	0,59	0,0010	0,4262	0,0265	0,0445	
14	90	4,0	84	0	0	-1	0,23	0,23	0,19	0,2	0,22	0,23	0,22	0,0014	0,3788	0,0263	0,0259	
ИТОГО:													5,285	0,0244	5,285	0,1187	0,3037	
Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта																		
s ² (y) 0,0017																		
Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 6 наблюдений																		
s ² (y _{ср}) 0,0003																		
Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии (критерий Стюдента при q=0,05 и /1=70 равен 2)																		
Коэффициенты регрессии		Дисперсия коэффициентов		s ² (b _i)*t _α (f)														
b ₀	0,446	s ² (b ₀)	0,0007	0,0014	значим													
b ₁	-0,071	s ² (b ₁)	0,0002	0,0003	значим													
b ₂	-0,064	s ² (b ₂)	0,0002	0,0003	значим													
b ₃	0,024	s ² (b ₃)	0,0002	0,0003	значим													
b ₁₁	-0,031	s ² (b ₁₁)	0,0007	0,0014	значим													
b ₂₂	-0,022	s ² (b ₂₂)	0,0007	0,0014	значим													
b ₃₃	-0,043	s ² (b ₃₃)	0,0007	0,0014	значим													
b ₁₂	0,009	s ² (b ₁₂)	0,0002	0,0004	значим													
b ₁₃	-0,052	s ² (b ₁₃)	0,0002	0,0004	значим													
b ₂₃	-0,024	s ² (b ₂₃)	0,0002	0,0004	значим													
Оценка дисперсии для проверки адекватности																		
s ² 2ад. 0,02968																		
Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, /1=70 и /2=4 равен 2,53)																		
F _{ад.}	16,997	адекватна		2,53														
Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, /2=4 и /3=13 равен 3,18)																		
y ^{ср.ср}	0,378																	
F _{эф.}	0,787	модель эффективна																

Приложение 8

Приложение 8																			
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев материала "Фанотрен А"																			
№	План эксперимента			Управляющие факторы			Управляемые параметры						y ^{ср}	S ²	y ^{нсп}	S _{ан}	(y ^{ср} -y ^{нсп}) ²		
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	1	2	3	4	5	6							
6	1	120	4,5	6	1	1	1	64,1	62,7	63,3	62,7	62,3	62	62,85	2,2570	63,1440	0,086436	11,1667	
7	2	60	4,5	6	-1	1	1	72,9	73,4	71,9	72,7	72	72,7	72,60	1,5920	71,8863	0,509320	41,0667	
8	3	120	3,5	6	1	-1	1	71,4	70,3	70,6	70	70,1	70,6	70,50	1,2720	70,2233	0,076544	18,5617	
9	4	60	3,5	6	-1	-1	1	80,1	80,7	79,7	80,2	80,4	79,5	80,10	0,6920	80,6373	0,310620	195,4417	
10	5	120	4,5	4	1	1	-1	49,48	50,18	49,98	49,58	50,18	49,98	49,90	0,4428	49,3393	0,310620	265,5270	
11	6	60	4,5	4	-1	1	-1	57,13	56,53	56,33	56,63	56,03	56,53	56,53	0,6600	56,8067	0,076544	93,3478	
12	7	120	3,5	4	1	-1	-1	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4	54,8	55,30	0,1000	56,0137	0,509320	118,6284	
13	8	60	3,5	4	-1	-1	-1	66,3	65,9	66,5	66,5	64,4	64,8	65,47	3,4978	65,1727	0,086436	0,5256	
14	9	120	4,0	5	1	0	0	66,5	65,2	65,4	65,3	65,2	65,1	65,45	1,2770	65,2763	0,030160	0,5501	
15	10	60	4,0	5	-1	0	0	73,52	74,32	74,02	73,82	74,22	74,42	74,05	0,4658	74,2270	0,030160	61,8038	
16	11	90	4,5	5	0	1	0	63,64	64,04	64,04	64,04	63,14	63,44	63,72	0,6641	64,4237	0,490467	6,0927	
17	12	90	3,5	5	0	-1	0	73,53	72,23	72,23	72,53	72,73	73,83	72,85	1,5348	72,1463	0,490467	44,2890	
18	13	90	4,0	6	0	0	1	76,1	76,1	75,3	76,6	75	76,1	75,87	1,7298	76,0057	0,019321	95,6056	
19	14	90	4,0	84	0	0	-1	61,1	61	61,5	61,9	61,9	61,6	61,50	0,7320	61,3610	0,019321	22,0117	
20														ИТОГО:	926,683	16,9170	926,683	3,045738	970,6207
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта																		
22	S ² [y]	1,2084																	
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 6 проб																		
24	S ² [yc]	0,2014																	
25	Проверка статистической значимости																		
26	коэффициентов регрессии																		
27	(критерий Стьюдента при q=0,05 и l=70 равен 2)																		
28	Коэффициенты регрессии	Дисперсия коэффициентов	S ² {b _i } * t ₀ (f)																
29	b ₀	71,3	S ² {b ₀ }	0,4909	0,9818	значимы													
30	b ₁	-4,475	S ² {b ₁ }	0,1208	0,2417	значимы													
31	b ₂	-3,861	S ² {b ₂ }	0,1208	0,2417	значимы													
32	b ₃	7,322	S ² {b ₃ }	0,1208	0,2417	значимы													
33	b ₁₁	-1,531	S ² {b ₁ }	0,4909	0,9818	значимы													
34	b ₂₂	-2,997	S ² {b ₂ }	0,4909	0,9818	значимы													
35	b ₃₃	-2,599	S ² {b ₃ }	0,4909	0,9818	значимы													
36	b ₁₂	0,423	S ² {b ₁ }	0,151	0,3021	значимы													
37	b ₁₃	-0,519	S ² {b ₁ }	0,151	0,3021	значимы													
38	b ₂₃	-0,101	S ² {b ₂ }	0,151	0,3021	незначимы													
39																			
40	Оценка дисперсии для проверки адекватности																		
41	S ² {S _{ан} }	0,76143																	
42	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, l=70 и l=4 равен 2,53)																		
43	F _{ан}	0,630	адекват	5,75															
44																			
45	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, l=4 и l=13 равен 3,18)																		
46	y ^{ср.сп}	66,192																	
47	F _{эф}	98,056	модель эффективна																
48																			

Приложение 9

Приложение 9																		
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при растяжении вдоль волокон материала "Фанотрен А"																		
№	План эксперимента			Управляющие факторы			Управляемые параметры						y ¹ cp	S ¹ 2	y ² cp	S ² cp	(y ¹ cp-y ² cp)cp	
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	1	2	3	4	5	6						
1	120	4,5	6	1	1	1	54,36	53,66	53,06	53,06	53,36	54,26	53,63	1,3324	53,9007	0,075076	0,1189	
2	60	4,5	6	-1	1	1	57,6	58,2	57,3	58	56,7	57,8	57,60	1,4280	57,1603	0,193307	13,1665	
3	120	3,5	6	1	-1	1	57,4	56,7	57,3	56,2	57,8	56,5	56,98	1,6814	56,8463	0,018769	9,0716	
4	60	3,5	6	-1	-1	1	61,4	61,3	60,5	61,4	60,8	61	61,07	0,6698	61,4443	0,142632	50,3424	
5	120	4,5	4	1	1	-1	45,33	44,63	44,83	44,53	44,43	44,03	44,63	0,8520	44,2523	0,142632	87,2623	
6	60	4,5	4	-1	1	-1	48,56	49,06	49,06	47,56	48,16	48,76	48,53	1,6498	48,6637	0,018769	29,6454	
7	120	3,5	4	1	-1	-1	47,67	48,07	47,17	48,47	48,17	47,87	47,90	1,0124	48,3430	0,193307	36,8218	
8	60	3,5	4	-1	-1	-1	55,1	54,3	54	54,1	53,9	54,8	54,37	1,0031	54,0927	0,075076	0,1562	
9	120	4,0	5	1	0	0	53,97	54,37	53,57	54,37	53,07	53,87	53,87	1,2400	53,6710	0,039601	0,0103	
10	60	4,0	5	-1	0	0	57,96	57,06	58,36	58,56	57,96	57,96	57,98	1,3281	58,1757	0,039601	16,0419	
11	90	4,5	5	0	1	0	52,4	52	52,2	51,9	51	51,7	51,87	1,1711	52,2730	0,165107	4,4300	
12	90	3,5	5	0	-1	0	57,8	56,5	57,1	56,3	56,7	56,8	56,87	1,4098	56,4603	0,165107	8,3824	
13	90	4,0	6	0	0	1	58,5	59,9	59,6	59,4	59,4	60,1	59,48	1,2441	59,4083	0,005625	30,3811	
14	90	4,0	6	0	0	-1	50,9	51,7	50,5	50,2	50,5	51,2	50,83	1,4058	50,9083	0,005625	9,8476	
ИТОГО:														755,6	17,279	755,600	1,280233	295,6785
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта																	
22	S ¹ 2 (y)	1,2306																
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 6 наблюдений																	
24	S ¹ 2 (ycp)	0,2051																
25	Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии																	
26	(критерий Стьюдента при q=0,05 и f1=70 равен 2)																	
27	Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии																	
28	(критерий Стьюдента при q=0,05 и f1=70 равен 2)																	
29	б0	56,2	Дисперсия коэффициентов	S ¹ 2 (б0)	0,4999	0,9998	значимы											
30	б1	-2,252	S ¹ 2 (б1)	0,1231	0,2461	значимы												
31	б2	-2,094	S ¹ 2 (б2)	0,1231	0,2461	значимы												
32	б3	4,250	S ¹ 2 (б3)	0,1231	0,2461	значимы												
33	б11	-0,237	S ¹ 2 (б1)	0,4999	0,9998	незначимы												
34	б22	-1,814	S ¹ 2 (б1)	0,4999	0,9998	значимы												
35	б33	-1,022	S ¹ 2 (б1)	0,4999	0,9998	значимы												
36	б12	0,335	S ¹ 2 (б1)	0,1538	0,3076	значимы												
37	б13	0,288	S ¹ 2 (б1)	0,1538	0,3076	незначимы												
38	б23	0,286	S ¹ 2 (б1)	0,1538	0,3076	незначимы												
40	Оценка дисперсии для проверки адекватности																	
41	S ¹ 2ад.	0,32006																
42	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, f1=70 и f2=4 равен 2,53)																	
43	Fад.	0,260	адекватна	5,75														
44	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, f2=4 и f3=13 равен 3,18)																	
45	y ¹ cp	53,971																
46	Fэф.	71,064	модель эффективна															

Приложение 10

Приложение 10													
План и результаты эксперимента по исследованию величин скачкового эквивалента РЭС материала "Фанотрен Б"													
План эксперимента													
№п/п	Управляющие факторы						Управляемые параметры			y ^{ср}	S ²	y [^] ср	y _н ^{эксп} - y _н ^{расч}
	Натуральные значения			Нормализованные значения			1	2	3				
	M1	M2	M3	X1	X2	X3							
1	60	25	15	1	0	0	0,296	0,311	0,319	0,309	0,00014	0,309	0,000
2	40	45	15	0	1	0	0,180	0,170	0,178	0,176	0,00003	0,176	0,000
3	40	25	35	0	0	1	0,139	0,146	0,141	0,142	0,00001	0,142	0,000
4	50	35	15	0,5	0,5	0	0,261	0,262	0,267	0,263	0,00001	0,263	0,000
5	40	35	25	0	0,5	0,5	0,206	0,205	0,209	0,207	0,00000	0,128	0,079
6	50	25	25	0,5	0	0,5	0,131	0,123	0,129	0,128	0,00002	0,207	0,079
7	47	32	21	0,33	0,33	0,33	0,219	0,211	0,212	0,214	0,00002	0,212	0,002
8	44	29	27	0,2	0,2	0,6	0,240	0,230	0,208	0,226	0,00027	0,173	0,053
9	52	29,0	19	0,6	0,2	0,2	0,286	0,280	0,310	0,292	0,00025	0,257	0,035
ИТОГО:										1,95633	0,00075	1,87	-
17 Среднее квадратическое отклонение													
0,03													
19													
20 Коэффициенты регрессии													
21 $b_1 = 0,309$													
22 $b_2 = 0,176$													
23 $b_3 = 0,142$													
24 $b_{12} = 0,084$													
25 $b_{13} = -0,073$													
26 $b_{23} = -0,125$													
27 $b_{123} = 0,486$													
28													
29 Проверка адекватности уравнения регрессии (по критерию Стьюдента)													
30 $t_8 = 2,732$													
31 $t_9 = 1,832$													
32													
33 $t_{0,05; 2} = 4,303$													
34													
35 Т.к. $t_8, t_9 < t_{табл.}$, то уравнение регрессии адекватно													
36													

Приложение 11

Приложение 11															
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при скалывании по клевоому слою материала "Фанатрен Б"															
№п/п	Управляющие факторы						Управляемые параметры			y ^{cp}	S ²	y [^] cp	(y ^{cp} -y [^] cp) ²		
	Натуральные значения			Нормализованные значения			1	2	3						
	q	t	τ	x ₁	x ₂	x ₃									
6	1	200	70	8	1	1	1	1,01	1,03	0,99	1,01	0,0004	0,5330	0,228	
7	2	150	70	8	-1	1	1	1,2	1,19	1,23	1,21	0,0010	0,5473	0,444	
8	3	200	50	8	1	-1	1	1,15	1,17	1,18	1,17	0,0002	0,6947	0,223	
9	4	150	50	8	-1	-1	1	1,41	1,45	1,39	1,42	0,0009	0,7473	0,448	
10	5	200	70	6	1	1	-1	0,66	0,69	0,6	0,66	0,0006	0,9127	0,062	
11	6	150	70	6	-1	1	-1	0,86	0,87	0,85	0,86	0,0001	0,9120	0,003	
12	7	200	50	6	1	-1	-1	0,81	0,8	0,81	0,81	0,0000	1,0527	0,061	
13	8	150	50	6	-1	-1	-1	1,02	1,03	1,05	1,03	0,0002	1,0903	0,003	
14	9	200	60	7	1	0	0	1	1,04	1,01	1,02	0,0004	0,9303	0,007	
15	10	150	60	7	-1	0	0	1,27	1,29	1,25	1,27	0,0004	0,9563	0,098	
16	11	175	70	7	0	1	0	1,1	1,06	1,08	1,08	0,0004	1,0817	0,000	
17	12	175	50	7	0	-1	0	1,27	1,26	1,23	1,23	0,0004	1,2517	0,000	
18	13	175	60	8	0	0	1	1,32	1,34	1,3	1,32	0,0004	0,9477	0,139	
19	14	175	60	6	0	0	-1	0,97	0,93	0,97	0,96	0,0003	1,3090	0,124	
20	ИТОГО:										15,0667	0,0062	12,967	1,839	
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта														
22	S ² (y)	0,00044													
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 3 наблюдений														
24	S ² (y ^{cp})	0,0001													
25	Проверка статистической значимости														
26	коэффициентов регрессии														
27	(критерий Стьюдента при q=0,05 и f1=28 равен 2,05)														
28	Коэффициенты	Дисперсия		S ² (b _i)*t _α (f1)											
29	b ₀	1,21	S ² (b ₀)	0,00018	0,0004	значим									
30	b ₁	-0,013	S ² (b ₁)	4,43E-05	0,0001	значим									
31	b ₂	-0,083	S ² (b ₂)	4,43E-05	0,0001	значим									
32	b ₃	0,181	S ² (b ₃)	4,43E-05	0,0001	значим									
33	b ₁₁	-0,270	S ² (b ₁₁)	0,00018	0,0004	значим									
34	b ₂₂	-0,047	S ² (b ₂₂)	0,00018	0,0004	значим									
35	b ₃₃	-0,083	S ² (b ₃₃)	0,00018	0,0004	значим									
36	b ₁₂	0,010	S ² (b ₁₂)	5,54E-05	0,0001	значим									
37	b ₁₃	-0,004	S ² (b ₁₃)	5,54E-05	0,0001	значим									
38	b ₂₃	-0,005	S ² (b ₂₃)	5,54E-05	0,0001	значим									
39															
40	Оценка дисперсии для проверки адекватности														
41	S ² ад.	0,00155													
42	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, f1=4 и f2=28 равен 2,71)														
43	F ад.	3,50	адекватн 2,71												
44															
45	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, B=13 и G=4 равен 3,18)														
46	y ^{cp} cp	1,076													
47	Fэф.	91,272	модель эффективна												

Приложение 12

Приложение 12														
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при статическом изгибе вдоль наружных слоев материала "Фанатрон Б"														
№п/п	Управляющие факторы						Управляемые параметры			y ^{ср}	S ²	y ^{ср}	(y ^{ср} -y ^{ср.ср}) ²	
	φ	l	τ	x ₁	x ₂	x ₃	1	2	3					
6	1	200	70	8	1	1	1	10,8	12,9	11,7	11,800	1,110	12,873	1,132
7	2	150	70	8	-1	1	1	19,4	19,1	18,8	19,100	0,090	17,037	4,237
8	3	200	50	8	1	-1	1	17,5	15,4	18,5	17,133	2,503	15,563	2,465
9	4	150	50	8	-1	-1	1	20,6	19,9	19,2	19,900	0,490	18,427	2,171
10	5	200	70	6	1	1	-1	16,9	14,6	13,4	14,967	3,163	16,440	2,171
11	6	150	70	6	-1	1	-1	12,6	10,4	13,5	12,167	2,543	13,737	2,465
12	7	200	50	6	1	-1	-1	18,3	19,4	19,7	19,133	0,543	21,197	4,237
13	8	150	50	6	-1	-1	-1	18,2	18,2	18,4	18,267	0,013	17,193	1,132
14	9	200	60	7	1	0	0	23,5	21,3	19,4	21,400	4,210	18,360	9,242
15	10	150	60	7	-1	0	0	15,4	16,6	14,2	15,400	1,440	18,440	9,242
16	11	175	70	7	0	1	0	18,7	20,4	21,9	20,333	2,563	18,280	4,216
17	12	175	50	7	0	-1	0	19,5	20,3	18,1	19,300	1,240	21,353	4,216
18	13	175	60	8	0	0	1	14,6	15,9	16,7	15,733	1,123	13,933	3,240
19	14	175	60	6	0	0	-1	12,5	12,6	14,8	13,300	1,690	15,100	3,240
20	ИТОГО:										237,933	22,723	237,933	53,486
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта													
22	S ² {y}	1,62310												
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 3 наблюдений													
24	S ² {y ^{ср} }	0,5410												
25	Проверка статистической значимости													
26	коэффициентов регрессии													
27	(критерий Стьюдента при q=0,05 и f1=28 равен 2,05)													
28	Коэффициенты	Дисперсия		S ² {Δi} * tα(f1)										
29	Δ0	18,09	S ² {Δ0}	0,659382	1,3517	значим								
30	Δ1	-0,040	S ² {Δ1}	0,16231	0,3327	значим								
31	Δ2	-1,537	S ² {Δ2}	0,16231	0,3327	значим								
32	Δ3	0,583	S ² {Δ3}	0,16231	0,3327	значим								
33	Δ11	0,313	S ² {Δ11}	0,659382	1,3517	значим								
34	Δ22	1,729	S ² {Δ22}	0,659382	1,3517	значим								
35	Δ33	-3,571	S ² {Δ33}	0,659382	1,3517	значим								
36	Δ12	-0,325	S ² {Δ12}	0,202887	0,4159	значим								
37	Δ13	-1,717	S ² {Δ13}	0,202887	0,4159	значим								
38	Δ23	0,517	S ² {Δ23}	0,202887	0,4159	значим								
39														
40	Оценка дисперсии для проверки адекватности													
41	S ² Δад.	5,68083												
42	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, f1=4 и f2=28 равен 2,71)													
43	F _{ад.}	3,50	адекват	2,71										
44														
45	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, f3=13 и f2=4 равен 3,18)													
46	y ^{ср.ср}	16,995												
47	F _{эф.}	0,724	модель эффективна											
48														
49														

Приложение 13

Приложение 13														
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при растяжении вдоль волокон материала "Фанатрен Б"														
№п/п	Управляющие факторы						Управляемые параметры			y _{ср}	S _y ²	y [^] _{ср}	(y _{ср} -y [^] _{ср}) ²	
	Натуральные значения			Нормализованные значения			1	2	3					
	q	t	c	x ₁	x ₂	x ₃								
6	1	200	70	8	1	1	1	26,4	24,8	26,5	25,900	0,910	18,807	50,315
7	2	150	70	8	-1	1	1	36,3	37,5	37,4	37,067	0,443	29,017	64,803
8	3	200	50	8	1	-1	1	23,9	22,8	24,2	23,633	0,543	16,737	47,564
9	4	150	50	8	-1	-1	1	33,7	35,5	33,6	34,267	1,143	24,630	92,865
10	5	200	70	6	1	1	-1	19,8	22,6	22,3	21,567	2,363	29,203	58,319
11	6	150	70	6	-1	1	-1	22,7	25,9	23,4	24,000	2,830	32,897	79,151
12	7	200	50	6	1	-1	-1	18,9	20,6	19,8	19,767	0,723	25,817	36,602
13	8	150	50	6	-1	-1	-1	16,9	19,6	17,8	18,100	1,890	27,193	82,689
14	9	200	60	7	1	0	0	26,9	25,1	24,9	25,633	1,213	25,937	0,092
15	10	150	60	7	-1	0	0	32,8	32,1	31,2	32,033	0,643	31,730	0,092
16	11	175	70	7	0	1	0	31,6	33,8	33,1	32,833	1,263	31,443	1,932
17	12	175	50	7	0	-1	0	25,1	27,1	26,3	26,167	1,013	27,557	1,932
18	13	175	60	8	0	0	1	28,9	27,9	26,7	27,833	1,213	27,110	0,523
19	14	175	60	6	0	0	-1	31,6	34,1	32,9	32,867	1,563	33,590	0,523
20	ИТОГО:										381,667	17,757	381,667	517,402
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта													
22	S ² (y)	1,26833												
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 3 наблюдений													
24	S ² (y _{ср})	0,4228												
25	Проверка статистической значимости													
26	коэффициентов регрессии													
27	(критерий Стьюдента при q=0,05 и /1=28 равен 2,03)													
28	Коэффициенты		Дисперсия		S ² (b _i)*t _α (r ₁)									
29	b ₀	31,57	S ² (b ₀)	0,515	1,0563		значим							
30	b ₁	-2,897	S ² (b ₁)	0,127	0,2600		значим							
31	b ₂	1,943	S ² (b ₂)	0,127	0,2600		значим							
32	b ₃	3,240	S ² (b ₃)	0,127	0,2600		значим							
33	b ₁₁	-2,740	S ² (b ₁₁)	0,515	1,0563		значим							
34	b ₂₂	-2,073	S ² (b ₂₂)	0,515	1,0563		значим							
35	b ₃₃	-1,223	S ² (b ₃₃)	0,515	1,0563		значим							
36	b ₁₂	-0,579	S ² (b ₁₂)	0,159	0,3250		значим							
37	b ₁₃	-1,629	S ² (b ₁₃)	0,159	0,3250		значим							
38	b ₂₃	-0,329	S ² (b ₂₃)	0,159	0,3250		значим							
39														
40	Оценка дисперсии для проверки адекватности													
41	S ² ад.	4,43917												
42	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, /1=4 и /2=28 равен 2,71)													
43	F _{ад.}	3,50	адекватна 2,71											
44														
45	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, /B=13 и /D=4 равен 3,18)													
46	y _{ср.ср}	27,262												
47	F>ф.	3,966	модель эффективна											
48														
49														

Приложение 14

Приложение 14														
План и результаты эксперимента по исследованию величин разбухания по толщине материала "Плитограм"														
№п/п	Управляющие факторы						Управляемые параметры			y ^{ср}	S ²	y ^{^ср}	(y ^{ср} -y ^{^ср}) ²	
	Натуральные значения			Нормализованные значения			1	2	3					
	Смек.	Сил.	ρ	x ₁	x ₂	x ₃								
6	1	40	30	1050	1	1	1	7,85	8,09	7,83	7,92	0,0209	7,3080	0,379
7	2	20	30	1050	-1	1	1	10,91	10,76	10,84	10,84	0,0056	10,9990	0,026
8	3	40	20	1050	1	-1	1	8,62	8,23	8,45	8,43	0,0382	8,7753	0,117
9	4	20	20	1050	-1	-1	1	14,59	14,62	14,66	14,62	0,0012	13,7230	0,811
10	5	40	30	850	1	1	-1	7,45	7,61	7,92	7,66	0,0571	8,5603	0,811
11	6	20	30	850	-1	1	-1	11,59	12,01	11,92	11,84	0,0489	11,4980	0,117
12	7	40	20	850	1	-1	-1	8,48	8,86	8,88	8,74	0,0508	8,5777	0,026
13	8	20	20	850	-1	-1	-1	11,94	12,32	12,21	12,16	0,0382	12,7720	0,379
14	9	40	25	950	1	0	0	8,31	8,47	8,52	8,43	0,0120	7,9687	0,216
15	10	20	25	950	-1	0	0	11,25	11,62	11,47	11,45	0,0346	11,9113	0,216
16	11	30	20	950	0	1	0	9,24	8,96	9,15	9,12	0,0204	9,0113	0,011
17	12	30	30	950	0	-1	0	10,15	10,37	10,31	10,28	0,0129	10,5820	0,011
18	13	30	25	1050	0	0	1	8,52	8,87	8,56	8,65	0,0367	8,9080	0,067
19	14	30	25	850	0	0	-1	9,15	9,47	9,33	9,32	0,0257	9,0587	0,067
ИТОГО:								139,453	0,4035	139,453	3,252			
21 Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта														
22 S ² (y) 0,02882														
23 Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 3 наблюдений														
24 S ² (y ^{ср}) 0,0096														
25														
26 Проверка статистической значимости														
27 коэффициентов регрессии														
28 (критерий Стьюдента при q=0,05 и f1=28 равен 2,05)														
29 Коэффициенты		Дисперсия		S ² (b _i)*σ(f1)		значим								
30 b ₀ 9,17		S ² (b ₀) 0,01171		0,0240		значим								
31 b ₁ -1,971		S ² (b ₁) 0,002882		0,0059		значим								
32 b ₂ -0,685		S ² (b ₂) 0,002882		0,0059		значим								
33 b ₃ 0,075		S ² (b ₃) 0,002882		0,0059		значим								
34 b ₁₁ 0,768		S ² (b ₁₁) 0,01171		0,0240		значим								
35 b ₂₂ 0,525		S ² (b ₂₂) 0,01171		0,0240		значим								
36 b ₃₃ -0,188		S ² (b ₃₃) 0,01171		0,0240		значим								
37 b ₁₂ 0,314		S ² (b ₁₂) 0,003603		0,0074		значим								
38 b ₁₃ -0,188		S ² (b ₁₃) 0,003603		0,0074		значим								
39 b ₂₃ -0,363		S ² (b ₂₃) 0,003603		0,0074		значим								
40														
40 Оценка дисперсии для проверки адекватности														
41 S ² зап. 0,10088														
42 Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, f1=4 и f2=28 равен 2,71)														
43 F _{зап.} 3,50		адекват		2,71										
44														
45 Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, G=13 и G=4 равен 3,18)														
46 y ^{ср.ср} 9,961														
47 F _{эф.} 2,480		модель эффективна												
48														

Приложение 15

Приложение 15														
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при статическом изгибе материала "Плиготрем"														
№п/п	Управляющие факторы						Управляемые параметры			y ^{ср}	S ²	y ^{ср}	(y ^{ср} -y ^{ср.ср}) ²	
	Натуральные значения			Нормализованные значения			1	2	3					
	С _{дв}	С _{из}	P	x ₁	x ₂	x ₃								
6	1	40	30	1050	1	1	1	12,08	12,32	12,2	12,20	0,0144	10,7997	1,961
7	2	20	30	1050	-1	1	1	18,8	19,21	18,96	18,99	0,0427	15,0693	15,372
8	3	40	20	1050	1	-1	1	11,03	10,82	10,9	10,92	0,0136	7,3723	12,610
9	4	20	20	1050	-1	-1	1	12,9	13,35	13,04	13,10	0,0530	10,3920	7,315
10	5	40	30	850	1	1	-1	11,32	11,6	11,53	11,48	0,0212	8,9080	6,632
11	6	20	30	850	-1	1	-1	14,21	13,98	14,31	14,17	0,0286	12,4377	2,989
12	7	40	20	850	1	-1	-1	5,3	5,55	5,34	5,40	0,0180	4,0373	1,848
13	8	20	20	850	-1	-1	-1	9,97	10,29	10,33	10,20	0,0389	6,3170	15,052
14	9	40	25	950	1	0	0	11,65	11,87	12,01	11,84	0,0329	10,1693	2,802
15	10	20	25	950	-1	0	0	11,89	11,69	11,73	11,77	0,0112	13,4440	2,802
16	11	30	20	950	0	1	0	16,3	15,82	16,13	16,08	0,0592	13,1487	8,612
17	12	30	30	950	0	-1	0	9,33	9,4	9,39	9,44	0,0061	8,3747	1,135
18	13	30	25	1050	0	0	1	14,81	15,22	15,17	15,07	0,0500	15,4433	0,142
19	14	30	25	850	0	0	-1	14,18	13,95	14,22	14,12	0,0212	12,4600	2,745
20	ИТОГО:									174,773	0,4113	148,373	82,017	
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта													
22	S ² {y}	0,02938												
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 3 наблюдений													
24	S ² {y ^{ср} }	0,0098												
25	Проверка статистической значимости													
26	коэффициентов регрессии													
27	(критерий Стьюдента при q=0,05 и f1=28 равен 2,05)													
28	Коэффициенты	Дисперсия	S ² {b _i }*tα(f1)											
29	b ₀	13,55	S ² {b ₀ }=0,011936	0,0245	значим									
30	b ₁	-1,637	S ² {b ₁ }=0,002938	0,0060	значим									
31	b ₂	2,387	S ² {b ₂ }=0,002938	0,0060	значим									
32	b ₃	-1,492	S ² {b ₃ }=0,002938	0,0060	значим									
33	b ₁₁	-1,745	S ² {b ₁₁ }=0,011936	0,0245	значим									
34	b ₂₂	-2,790	S ² {b ₂₂ }=0,011936	0,0245	значим									
35	b ₃₃	0,400	S ² {b ₃₃ }=0,011936	0,0245	значим									
36	b ₁₂	-0,313	S ² {b ₁₂ }=0,003673	0,0075	значим									
37	b ₁₃	-0,185	S ² {b ₁₃ }=0,003673	0,0075	значим									
38	b ₂₃	-0,361	S ² {b ₂₃ }=0,003673	0,0075	значим									
39														
40	Оценка дисперсии для проверки адекватности													
41	S ² ад.	0,10283												
42	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, f1=4 и f2=28 равен 2,71)													
43	F _{ад.}	3,50	адекват	2,71										
44														
45	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, f3=13 и f2=4 равен 3,18)													
46	y ^{ср.ср}	12,484												
47	F _{эф.}	61,352	модель эффективна											
48														
49														

Приложение 16

Приложение 16														
План и результаты эксперимента по исследованию величины разбухания по толщине материала "ДС-1"														
№п/п	Управляющие факторы						Управляемые параметры			y ^{ср}	s ²	y ^{^ср}	(y ^{ср} -y ^{^ср}) ²	
	Натуральные значения			Нормализованные значения			1	2	3					
	Смек.	Скел.	ρ	x ₁	x ₂	x ₃								
6	1	40	30	1200	1	1	1	8,97	9,09	8,99	9,02	0,004	14,233	27,208
7	2	20	30	1200	-1	1	1	15,25	15,34	15,41	15,33	0,006	8,163	51,412
8	3	40	20	1200	1	-1	1	9,33	9,5	9,37	9,40	0,008	15,610	38,561
9	4	20	20	1200	-1	-1	1	17,21	17,21	17,17	17,20	0,001	9,205	63,865
10	5	40	30	1000	1	1	-1	9,05	8,96	8,97	8,99	0,001	14,656	31,912
11	6	20	30	1000	-1	1	-1	15,74	15,67	15,69	15,70	0,001	7,818	62,130
12	7	40	20	1000	1	-1	-1	9,92	10,37	10,31	10,20	0,080	15,698	30,225
13	8	20	20	1000	-1	-1	-1	16,18	16,03	16,1	16,10	0,006	8,545	57,132
14	9	40	25	1100	1	0	0	9,19	9,22	9,12	9,18	0,003	15,646	41,848
15	10	20	25	1100	-1	0	0	15,43	15,48	15,6	15,50	0,008	9,034	41,848
16	11	30	20	1100	0	1	0	10,6	10,42	10,49	10,50	0,008	9,672	0,691
17	12	30	30	1100	0	-1	0	12,1	11,6	12	11,90	0,070	10,724	1,383
18	13	30	25	1200	0	0	1	10,39	10,31	10,2	10,30	0,009	10,664	0,133
19	14	30	25	1000	0	0	-1	10,89	11,06	10,75	10,90	0,024	10,536	0,133
20	ИТОГО:										170,220	0,209	160,183	448,482
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта													
22	s ² (y)	0,01491												
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 3 наблюдений													
24	s ² (y ^{ср})	0,0050												
25	Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии (критерий Стьюдента при q=0,05 и f1=28 равен 2,05)													
26	Коэффициенты													
27	Дисперсия													
28	s ² (Δi)*tα(f1)													
29	Δ0	10,70	s ² (Δ0)	0,006058	0,0124	значим								
30	Δ1	3,306	s ² (Δ1)	0,001491	0,0031	значим								
31	Δ2	-0,526	s ² (Δ2)	0,001491	0,0031	значим								
32	Δ3	-0,064	s ² (Δ3)	0,001491	0,0031	значим								
33	Δ11	1,640	s ² (Δ11)	0,006058	0,0124	значим								
34	Δ22	-0,502	s ² (Δ22)	0,006058	0,0124	значим								
35	Δ33	-0,100	s ² (Δ33)	0,006058	0,0124	значим								
36	Δ12	-0,084	s ² (Δ12)	0,001864	0,0038	значим								
37	Δ13	-0,187	s ² (Δ13)	0,001864	0,0038	значим								
38	Δ23	-0,079	s ² (Δ23)	0,001864	0,0038	значим								
39	Оценка дисперсии для проверки адекватности													
40	s ² Зад.	0,05219												
41	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, f1=4 и f2=28 равен 2,71)													
42	Fад.	3,30	адекватно 2,71											
43	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, f1=13 и f2=4 равен 3,18)													
44	y ^{ср.ср}	12,159												
45	Fэф.	660,998	модель эффективна											
46														
47														
48														
49														

Приложение 17

Приложение 17														
План и результаты эксперимента по исследованию предела прочности при статическом изгибе материала "ДС-1"														
№п/п	Управляющие факторы						Управленные параметры			у _{ср}	S _y ²	y [^] _{ср}	(y _{ср} -y [^] _{ср}) ²	
	Натуральные значения			Нормализованные значения			1	2	3					
	Смк.	Сск.	P	x ₁	x ₂	x ₃								
6	1	40	30	1200	1	1	1	10,97	11,3	11,32	11,20	0,039	10,939	0,067
7	2	20	30	1200	-1	1	1	14,65	14,66	14,49	14,60	0,009	12,909	2,858
8	3	40	20	1200	1	-1	1	9,72	10,16	9,82	9,90	0,053	9,571	0,108
9	4	20	20	1200	-1	-1	1	12,62	12,73	12,75	12,70	0,005	10,090	6,810
10	5	40	30	1000	1	1	-1	10,78	11,1	10,82	10,90	0,030	11,510	0,372
11	6	20	30	1000	-1	1	-1	14,7	14,39	14,42	14,50	0,029	16,832	5,423
12	7	40	20	1000	1	-1	-1	8,11	8,23	8,25	8,20	0,006	7,887	0,096
13	8	20	20	1000	-1	-1	-1	9,42	9,62	9,46	9,50	0,011	11,758	5,099
14	9	40	25	1100	1	0	0	11,2	10,94	10,87	11,00	0,030	11,290	0,082
15	10	20	25	1100	-1	0	0	14,32	14,35	14,62	14,50	0,019	14,210	0,082
16	11	30	20	1100	0	1	0	14,19	14,29	14,42	14,30	0,013	13,310	0,979
17	12	30	30	1100	0	-1	0	8,97	9,21	9,12	9,10	0,015	10,090	0,979
18	13	30	25	1200	0	0	1	14,23	13,87	14,2	14,10	0,040	13,390	0,504
19	14	30	25	1000	0	0	-1	13,7	13,8	13,9	13,80	0,010	14,510	0,504
20	ИТОГО:										168,297	0,309	168,297	23,962
21	Оценка дисперсии воспроизводимости единичного опыта													
22	S ² (y)	0,02208												
23	Оценка дисперсии воспроизводимости среднего значения из 3 наблюдений													
24	S ² (y _{ср})	0,0074												
25	Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии													
26	(критерий Стьюдента при q=0,05 и /f=28 равен 2,05)													
28	Коэффициенты		Дисперсия		S ² (b _i)*t _α (f)									
29	b ₀	13,48	S ² (b ₀)	0,009	0,0184	значим								
30	b ₁	-1,460	S ² (b ₁)	0,002	0,0045	значим								
31	b ₂	1,610	S ² (b ₂)	0,002	0,0045	значим								
32	b ₃	0,560	S ² (b ₃)	0,002	0,0045	значим								
33	b ₁₁	-0,731	S ² (b ₁₁)	0,009	0,0184	значим								
34	b ₂₂	-1,781	S ² (b ₂₂)	0,009	0,0184	значим								
35	b ₃₃	0,469	S ² (b ₃₃)	0,009	0,0184	значим								
36	b ₁₂	-0,363	S ² (b ₁₂)	0,003	0,0057	значим								
37	b ₁₃	0,838	S ² (b ₁₃)	0,003	0,0057	значим								
38	b ₂₃	-0,564	S ² (b ₂₃)	0,003	0,0057	значим								
39														
40	Оценка дисперсии для проверки адекватности													
41	S ² зад.	0,07729												
42	Проверка адекватности модели (критерий Фишера при q=0,05, /f=4 и /2=28 равен 2,71)													
43	F _{ад.}	3,50	адекватн	2,71										
44														
45	Оценка эффективности модели критерий Фишера при q=0,05, /f=13 и /2=4 равен 3,18)													
46	y _{ср.ср}	12,021												
47	F _{эф.}	23,848	модель эффективна											
48														
49														



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО

ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 10638

На основании Патентного закона Российской Федерации, введенного в действие 14 октября 1992 года, Российским агентством по патентам и товарным знакам выдано настоящее свидетельство на полезную модель

СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ

Обладатель(ли):

Веточкин Юрий Иванович

по заявке № 99104962, дата поступления: 09.03.99

Приоритет от 09.03.99

Автор(ы):

*Ялуткин Валентин Анатольевич, Веточкин Юрий Иванович,
Ялун Ирина Валерьевна*

Свидетельство действует на всей территории Российской Федерации в течение 5 лет с 9 марта 1999 г. при условии своевременной уплаты пошлины за поддержание свидетельства в силе

Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации

г. Москва, 16 августа 1999 г.

Генеральный директор

А.Д. Корчагин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 125518

КОМПОЗИЦИОННЫЙ СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011115495

Приоритет полезной модели 19 апреля 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 марта 2013 г.

Срок действия патента истекает 19 апреля 2021 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

КОПИЯ

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

на товарный знак (знак обслуживания)

№ 374387

ФАНОТРЕН

Правообладатель: *Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Уральский
государственный лесотехнический университет, 620100,
г.Екатеринбург, Сибирский тракт, 37 (RU)*

Заявка № 2007740454

Приоритет товарного знака 21 декабря 2007 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
товарных знаков и знаков обслуживания

Российской Федерации 12 марта 2009 г.

Срок действия регистрации истекает 21 декабря 2017 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам*

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

на товарный знак (знак обслуживания)

№ 373501

ПЛИТОТРЕН

Правообладатель: *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский государственный лесотехнический университет, 620100, г.Екатеринбург, Сибирский тракт, 37 (RU)*

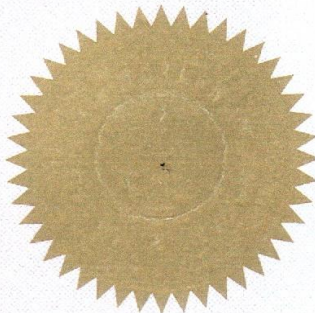
Заявка № 2007740455

Приоритет товарного знака 21 декабря 2007 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков и знаков обслуживания

Российской Федерации 27 февраля 2009 г.

Срок действия регистрации истекает 21 декабря 2017 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 41067

РЕНТГЕНОЗАЩИТНОЕ ДВЕРНОЕ ПОЛОТНО

Патентообладатель(ли): *ГОУВПО Уральский государственный лесотехнический университет (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2004115527

Приоритет полезной модели 24 мая 2004 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 октября 2004 г.

Срок действия патента истекает 24 мая 2009 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.Л. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 84684

ШИРМА РЕНТГЕНОЗАЩИТНАЯ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2008152956

Приоритет полезной модели 31 декабря 2008 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 июля 2009 г.

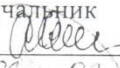
Срок действия патента истекает 31 декабря 2018 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.И. Симонов

ТУ 5540-001-02069243-00

ОКП 554000
Согласовано
Свердловский областной
психоневрологический
госпиталь
для ветеранов войн
Начальник

С.И. Спектор
«06» 02 2001 г.

Группа К24
Утверждаю
Ректор Уральской
государственной
лесотехнической академии
В.Н. Старжинский
» 02 2001 г.

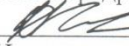
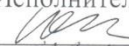
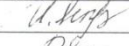




СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ Технические условия ТУ 5540-001-02069243-00

Срок введения
01.03.2001

Согласовано
Главный государственный
санитарный врач
Свердловской области
Б.И. Никонов
_____ 2001 г.



Разработано
Уральской государственной
лесотехнической академией
кафедрой механической
обработки древесины
Зав. кафедрой
 О.Н. Чернышев
Исполнители:
 Ю.И. Ветошкин
 И.В. Яцун
 В.А. Ягуткин

Государственное учреждение
Уральский центр стандартизации, метрологии и
сертификации - УРАЛЦОС Госстандарта России
КЛИТ зарегистрирован за № Р70/002969
Дата 01.03.2001 Подпись 

Министерство здравоохранения
Российской Федерации
Федеральное государственное
учреждение
Центр
государственного
санитарно-эпидемиологического
надзора
в Свердловской области

620078, г. Екатеринбург,
пер. Отдельный, 3,
тел.: (3432) 74-13-79
факс: (3432) 74-47-03
55-10-35
телегайн 221109

e-mail: sportf@oosen.mplik.ru
http://www.oosen.mplik.ru

от «25» 11 2011 г. № 33
На № _____

Заключение об эффективности слоистого материала (шпон, скрепленный фольгой из сплава Вуда) в отношении ослабления гамма-излучения

Радиологической лабораторией отдела контроля радиационного фактора Свердловского областного центра санэпиднадзора были выполнены исследования защитных характеристик слоистого материала (три слоя шпона, скрепленные фольгой из сплава Вуда – два слоя по 1,0 мм.).

С целью экспериментального определения ослабления гамма- излучения в тонком пучке в диапазоне энергий от 60 до 1332 кэВ моделировалось ослабление интенсивности моноэнергетического гамма-излучения с помощью установки радиометрической образцовой 1-го разряда на основе ППД гамма- спектрометра в составе: детектор ДГДК-80 № 2577, АЦП «АСПЕКТ» 8к-100 (Программное обеспечение – LSRM) измерялись интенсивности отдельных гамма- линий образцовых гамма- спектрометрических источников гамма-излучения ОСГИ с наращиванием слоя исследуемого слоистого материала.

Результаты измерений интенсивности приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Энергия (кэВ)	Интенсивность, имп/с.		
	0	1	2
Число слоев →			
59,6	23,2	0,488	0,054
85,0	0,83	0,66	
511	7,11	6,06	4,55
661	38,1	34,5	25,2
1172	8,85	8,32	6,59
1273	2,16	2,05	1,62
1332	7,56	7,40	5,74

По результатам выполненных измерений рассчитаны линейные коэффициенты ослабления и слои половинного ослабления гамма-излучения для материалов
Линейные коэффициенты ослабления материала.

Таблица 3.

Энергия (кэВ)	Линейный коэффициент ослабления 1/слой		
	0	1	2
Число слоев →			
59,6		0,021034	0,00044
85,0		0,795181	0,6241
511		0,852321	0,639944
661		0,905512	0,661417
1172		0,940113	0,744633
1273		0,949074	0,75
1332		0,978836	0,759259

Средний рассчитанный свинцовый эквивалент

Таблица 4.

Энергия (кэВ)	Эквивалентная толщина свинца, см
59,6	0,076016
511	0,093996
661	0,084114
1172	0,093853
1273	0,079435
Среднее	0,080

Выводы:

- Средний свинцовый эквивалент для слоистого материала составляет 0,80 мм Pb/слой материала.
- Слоистый материал (шпон, скрепленный фольгой из сплава Вуда) обладают достаточной эффективностью ослабления рентгеновского и мягкого гамма-излучения с энергией < 500 кэВ,
- Расчет защиты, выполненной из материалов для энергий гамма- и рентгеновского излучения, отличающихся от приведенных в таблицах следует производить по измеренному свинцовому эквиваленту материала.
- Для производства слоистого материала в качестве рентгенозащитного материала необходимо предусмотреть состав скрепляющей фольги с допусками на содержание компонентов и контроль толщины и однородности слоя фольги в слоистом материале.
- Целесообразно для производства жалюзи из слоистого материала выполнить оценку защитных свойств при натурных измерениях (для учета пропускания рассеянного излучения между элементами).

Заместитель главного
государственного санитарного врача
по Свердловской области



В.Б.Гурвич

(3432) 55-10-35
Семенов В.С.

Министерство здравоохранения Российской Федерации
ЦЕНТР ГОССАНЭПИДНАДЗОРА В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

АККРЕДИТОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

620078, Екатеринбург, пер. Отдельный 3, тел. 74-13-79, 74-47-03.
 Расчетный счет: ИНН 6660004852, 40603810300002000054 в
 ЕРКЦ г.Екатеринбург, код 046568000.

АТТЕСТАТ «Системы»
 № ГСЭН.RU.ЦОА.069
 от 27 июня 2003 г
 № РОСС RU 0001 510116
 ЛРК зарегистрирована в Госреестре
 № 41117-96/03 от 16.01.03

УТВЕРЖДАЮ:
 Главный врач ЦГСЭН в
 Свердловской области
Никонов Б.И.
 _____ 2004 г.



**Отчет об экспертизе материала в отношении ослабления
 гамма-излучения**

№ 306 от « 20 » мая 2004 г.

1. Наименование заявителя: Уральский государственный лесотехнический университет
2. Юридический адрес: г. Екатеринбург Сибирский тракт 37
3. Предмет экспертизы: Конструкционный слоистый материал «ФАНТОРЕН-Б»
4. Время и дата отбора: 26.04.2004
5. Дополнительные сведения: _____
6. Эксперт: физик-эксперт ЦГСЭН в Свердловской области Семенов В.С.

Результаты экспертизы:

С целью экспериментального определения ослабления гамма-излучения в тонком пучке с энергией 60 кэВ моделировалось ослабление интенсивности моноэнергетического гамма-излучения с помощью установки радиометрической образцовой 1-го разряда на основе ППД гамма-спектрометра.

Результаты измерений интенсивности приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Энергия (кэВ)	ФАНТОРЕН-Б		
	Интенсивность, имп/с.		
Число слоев -	0	1	2
59,6	214,8	1,16	0,064

По результатам выполненных измерений рассчитаны линейные коэффициенты ослабления и слой половинного ослабления гамма-излучения для материалов

Линейные коэффициенты ослабления материала.

рассчитанный свинцовый эквивалент

Таблица 4.

Энергия (кэВ)	Эквивалентная толщина свинца, см
59,6	0,103

Выводы:

- Средний свинцовый эквивалент для слоистого материала составляет 1.03 мм Pb/слой.
- Слоистый материал обладают достаточной эффективностью ослабления рентгеновского и мягкого гамма-излучения с энергией < 200 кэВ,
- Расчет защиты, выполненной из материалов для энергий гамма- и рентгеновского излучения, отличающихся от приведенной в таблице следует производить по измеренному свинцовому эквиваленту материала.

Физик – эксперт ОКРФ
ЦГСЭН в Свердловской области



Семенов В.С.

Зав. ОКРФ ЦГСЭН
в Свердловской области




Тиболов И.В.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

**Федеральное государственное учреждение здравоохранения
«Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области»**

Отдельный пер. 3, г. Екатеринбург, 620078

тел.: (343) 374-13-79 факс: (343) 374-47-03 e-mail: root@ocsen.ulk.ru <http://www.ocsen.ru>
ОКПО 01944619 ОГРН 1056603530510 ИНН/КПП 6670081969/667001001

АТТЕСТАТ "Системы" № ГСЭН.RU.ЦОА.069 от 27 июня 2003 г. зарегистрирован в Госреестре № РОСС.RU.0001.510116 от 27 июня 2003 г. ЛРК зарегистрирована в Госреестре № 41117-96/03 от 16.01.03.	Утверждаю: Главный врач ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области»  С.В. Романов 2007 г.
---	---

Отчет об экспертизе материала в отношении ослабления гамма-излучения

№ _____ от « 17 » апреля 2007 г.

1. Наименование заявителя: Уральский государственный лесотехнический университет
2. Юридический адрес: г. Екатеринбург, Сибирский тракт 37.
3. Предмет экспертизы: Конструкционный материал на основе отходов древесины «Плитотрен-А», изготовленный в лабораторных условиях кафедры Механической обработки древесины.
4. Время и дата отбора: 10.04.2007
5. Дополнительные сведения:
6. Эксперт: физик-эксперт ФГУЗ «ЦГиЭ в Свердловской области» Семенов В.С.

Результаты экспертизы:

С целью экспериментального определения ослабления гамма-излучения в тонком пучке с энергией 60 кэВ моделировалось ослабление интенсивности моноэнергетического гамма-излучения с помощью установки радиометрической образцовой 1-го разряда на основе ППД гамма-спектрометра.

Результаты измерений интенсивности приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Плитотрен-А (толщина 1 слоя 12 мм.)			
Энергия (кэВ)	Интенсивность, имп/с.		
	Число слоев толщиной 12 мм	0	1
59,6	214,8	1,16	0,064

По результатам выполненных измерений рассчитаны линейные коэффициенты ослабления и слои половинного ослабления гамма-излучения для материалов
Линейные коэффициенты ослабления материала.

рассчитанный свинцовый эквивалент		Таблица 4.
Энергия (кэВ)	Эквивалентная толщина свинца, см	
59,6	0,3	

Министерство здравоохранения
Российской Федерации
Наименование учреждения
ЦГСЭН в Свердловской обл.

Код формы по ОКУД
Код учреждения по ОКПО
Медицинская документация
Форма № 303-00-3/у
Утверждено приказом
Министерства здравоохранения
Российской Федерации
от 27.10.2000 № 381

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ГЛАВНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ ВРАЧ
по Свердловской области
(наименование территории, ведомства)

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

№ 66.01.10.554.П.000127.03.01 от 27.03.2001 г.

Настоящим санитарно-эпидемиологическим заключением удостоверяется, что производство, применение (использование) и реализация новых видов продукции; продукция, ввозимая на территорию Российской Федерации слоистый материал

изготовленная в соответствии
ТУ 5540-001-02069243-00. Код ОКП 55 4000.

СООТВЕТСТВУЕТ ~~(НЕ СООТВЕТСТВУЕТ)~~ государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам (ненужное зачеркнуть, указать полное наименование санитарных правил)
ГН 2.1.6.695-98 "ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест", ГОСТ 16371-93 "Мебель", с изменением № 1.

Организация — изготовитель
Уральская государственная лесотехническая академия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
(Российская Федерация)
Получатель санитарно-эпидемиологического заключения
Уральская государственная лесотехническая академия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
(Российская Федерация)
Основанием для признания продукции, соответствующей (не соответствующей) государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам являются (перечислить рассмотренные протоколы исследований, наименование учреждения, проводившего исследования, другие рассмотренные документы):
№ 10/10- 27 от 10.01.2001 г. ИЛЦ ЦГСЭН в Свердловской области

№ 0048290

Гигиеническая характеристика продукции

Вещества, показатели (факторы)	Гигиенический норматив (СанПиН, МДУ, ПДК и т.д.)
1. Органолептика (запах модельной среды после контакта с изделием), балл	< 2,0
2. Миграция веществ, мг/м3:	
- формальдегид	0,01
- этилацетат	0,1
- бутилацетат	0,1
3. Концентрация естественных радионуклидов, Бкp/кг	< 370

Область применения:
защитные жалюзи на окна, защитные экраны, облицовка стен, потолков, полов, дверей в помещениях с использованием рентгенустановок, для защиты тела человека от воздействия рассеянного рентгеновского излучения

Необходимые условия использования, хранения, транспортировки и меры безопасности:
ТУ 5540-001-02069243-2000

Информация, наносимая на этикетку:
название товара, страна, изготовитель, назначение, основные свойства, правила пользования

Заключение действительно до 31.12.2002 г.



Главный государственный санитарный врач
(заместитель главного государственного санитарного врача)



Бланк N 0048290

Формат А4. Бланк. Срок хранения 5 лет.

27.04.1995 г.
г. Екатеринбург,
областная клиническая
больница №1

Утверждаю:

Заведующий областным рентгено-
радиологическим центром

Безродный Виктор Андреевич

*Маврогий врач
Сибиряков*

Сергей Владимирович

Решение семинара рентгенологов
Свердловской области

Настоящее решение составлено по результатам научно-практической работы по теме: "Защитный слоистый материал", представленной кафедрой механической обработки древесины Уральской Государственной лесотехнической академии (заведующим кафедрой доцентом, канд. техн. наук Ветошкиным Ю.И. и ассистентом Яцун И.В.) зав. кафедрой Д и СД, доцентом, канд. техн. наук Дружининым А.В.)

Актуальность темы

В настоящее время из-за дефицита барита и его высокой стоимости, а также низких качественно-эксплуатационных свойств просвинцованной резины для дверных полостей возникли трудности по оформлению рентгеновских кабинетов.

Потому предложенный материал вызвал большой интерес с точки зрения экономии, защитных свойств и внешнего вида. Материал был представлен в виде образцов декоративной защитной фанеры. Он удовлетворяет по своим эксплуатационным показателям для оформления рентгенокабинетов.

В результате испытаний материала на защитные свойства получены удовлетворительные результаты.

К сожалению, следует отметить, что данная научная работа не является законченным трудом, готовым к применению на практике по следующим причинам:

1. Требуется дальнейшая отработка технологических режимов изготовления слоистого материала, сначала в лабораторных условиях, а затем в промышленных.

2. Не достаточно данных по защитным и эксплуатационным свойствам, которыми обладает материал.

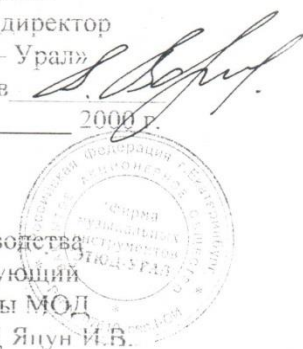
Для получения реальных результатов исследований необходимо:

1. Финансирование данной работы.

2. Опробация изготовления материала в промышленных условиях и внедрение.

3. Проведение патентных работ по проблеме.

УТВЕРЖДАЮ:
 Генеральный директор
 ЗАО «Этюд – Урал»
 В.Л. Воробьев
 « 4 » 10 . 2000 г.



АКТ

Мы, нижеподписавшиеся, зам. начальника производства Шадрина И.В., сменный мастер Волкжанин Д.А., заведующий кафедрой МОД УГЛТА Чернышев О.Н., доцент кафедры МОД Ветошкин Ю.И., старший преподаватель кафедры МОД Яцун И.В. составили настоящий акт в том, что 10 июля 2000 г. на ЗАО «Этюд Урал», г. Екатеринбургa провели опытные запрессовки по промышленной проверке технологических режимов изготовления фанеры специального назначения.

Запрессовки проводились в основном цехе на прессе П-713 с размером плит 1900x900 мм. Изготавливались защитные жалюзи из фанеры специального назначения размером 4x120x1200 мм, общей площадью 5,5 м².

Исходные материалы:

1. Шпон лушечный, березовый, толщиной 1,5 мм (ГОСТ 99-75);
2. Фольга специального назначения из легкоплавкого сплава ВУДа на основе висмута, толщиной 0,3 мм;
3. Клей JOWAT 445 00 (Германия).

Режим прессования:

1. Температура плит пресса - 25 °С;
2. Давление плит пресса - 1,0 МПа;
3. Расход клея - 60 -80 г/м²
3. Время открытой выдержки - 10 мин.
4. Время закрытой выдержки - 10 мин.
5. Время прессования -15 мин.

Полученный листовый материал удовлетворяет общим требованиям технических условий «Слоистый материал из шпона специального назначения» (опытные).

Представители ЗАО «Этюд – Урал»:	Представители УГЛТА:
Зам. начальника производства	Зав. кафедрой МОД
<u>Шадрин</u> И.В. Шадрина	<u>Чернышев</u> О.Н. Чернышев
Сменный мастер	Доцент кафедры МОД
<u>Волкжанин</u> Д.А. Волкжанин	<u>Ветошкин</u> Ю.И. Ветошкин
	Ст. преподаватель кафедры МОД
	<u>Яцун</u> И.В. Яцун

«Утверждаю»
 Начальник
 Свердловского областного
 психоневрологического
 госпиталя
 для ветеранов войн
 «___» _____ 2001г.
 С.И.Спектор



«Утверждаю»
 Проректор
 по научной работе
 УГЛТУ
 Новоселов В.Г.
 «10» _____ 2001 г.



АКТ

Екатеринбург




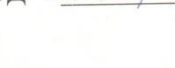
«___» _____ 2001г.

Мы, нижеподписавшиеся, заведующая рентгенодиагностическим отделением Свердловского областного психоневрологического госпиталя для ветеранов войн Можарова И.Э., заведующий кафедрой МОД УГЛТУ Чернышев О.Н., доцент кафедры МОД УГЛТУ Ветошкин Ю.И., старший преподаватель кафедры МОД УГЛТУ Яцун И.В. составили настоящий акт в том, что в сентября 2001 г. в Свердловском областном психоневрологическом госпитале для ветеранов войн выполнена установка защитных жалюзи, изготовленных из промышленной партии конструкционно-слоистого материала специального назначения (5 м²) и оценка их защитно-декоративных свойств.

Испытания проводились при стандартных режимах флюорографии (60 ...90 кВ, 100 мА, 25 ... 40 чА/с), T_{возд.} 17 ...20 С⁰, влажность 75%.

Результаты испытаний показали, что вышеуказанные жалюзи удобны в эксплуатации, гигиеничны (соответствуют требованиям Сан ПиН), представляют собой надежную защиту от рентгеновского излучения. Подобные жалюзи или аналогичные изделия из указанного материала (ширмы, двери и т.п.) могут быть рекомендованы для использования в рентгеновских кабинетах в качестве защитных.

Зав. рентгенотделением
 Зав. кафедрой МОД
 Доцент кафедры МОД
 Ст. преподаватель каф. МОД

 И.Э. Можарова
 О.Н. Чернышев
 Ю.И. Ветошкин
 И.В. Яцун

УТВЕРЖДАЮ:
 Директор ООО «БиКдрев»
 И.В. Костылев
 «30» марта 2018 г.



АКТ

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер Масагутов Э.С., начальник производства Мамаев А.Л., заведующий кафедрой МОДиПБ Чернышев О.Н., доцент кафедры МОДиПБ Яцун И.В., старший преподаватель кафедры ТМиОЦБП Одинцева С.А. составили настоящий акт в том, что 30 марта 2018 г. на ООО «БиКдрев» (г. Екатеринбург) изготовили опытно-промышленную партию рентгенозащитного слоистого материала на основе древесины, общей площадью 2,88 м².

Пропитка армирующего рентгенозащитного слоя композиционного материала осуществлялась пропитывающим составом в ванной нестандартного изготовления с последующей сушкой на этажерках при температуре 20±2 °С в течение 48 часов. Размеры получаемых заготовок составили 1200×1200 мм.

Исходные материалы пропитывающего состава:

1. Синтепон термоскрепленный с поверхностной плотностью 300 г/м² (ТУ-6-13-0204456-40-90);
 2. Барий сернокислый, BaSO₄ (ГОСТ 4682-84);
 3. Клей на основе поливинилацетатной дисперсии «Иоваколь» D3/D4.10270;
 4. Вода дистиллированная (ГОСТ 6709-72).
- Запрессовка осуществлялась на прессе НРС 4/70 с размерами плит прессы 2500×1300мм.

Исходные материалы

1. Шпон березовый лущеный, толщиной 1,5±0,1 мм (ГОСТ 99-75), с шероховатостью поверхности не более 60 мкм;
2. Армирующий рентгенозащитный слой, толщиной 3±0,1 мм;
3. Клей на основе поливинилацетатной дисперсии «Иоваколь» D3/D4.10270.

Режим прессования

1. Температура плит прессы - 50±5 °С;
2. Давление на пакет – 1,5 ±0,1 МПа;
3. Время прессования пакета – 7 мин 30 с;
4. Расход клея – 173±10 г/м²;
5. Толщина получаемого материала - 9,5±0,3мм (обеспечивается дистанционными планками).

Набор пакета композиционного слоистого материала осуществлялся путем чередования листов березового лущеного шпона с листами армирующего рентгенозащитного слоя.

Представители ООО «БиКдрев»:
 Главный инженер
 _____ Э.С. Масагутов
 Начальник производства
 _____ А.Л. Мамаев

Представители УГЛТУ
 Заведующий кафедрой МОДиПБ
 _____ О.Н. Чернышев
 Доцент кафедры МОДиПБ
 _____ И.В. Яцун
 Ст. преподаватель кафедры МиОЦБП
 _____ С.А. Одинцева

УТВЕРЖДАЮ:
 Директор ООО «БиКдрев»
 Г.В. Костылев
 «18» сентября 2019 г.



АКТ

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер Масагутов Э.С., начальник производства Мамаев А.Л., заведующий кафедрой МОДиПБ Чернышев О.Н., заведующий кафедрой АИТ Гороховский А.Г., доцент кафедры МОДиПБ Яцун И.В., составили настоящий акт в том, что 18 сентября 2019 г. на ООО «БиКдрев» (г. Екатеринбург) изготовили опытно-промышленную партию рентгенозащитного плитного материала на основе древесной стружки «Плитотрен», общим объемом 0,126 м³. Запрессовка осуществлялась на горячем гидравлическом прессе NPC 4/70 ORMA.

Исходные материалы

№п/п	Наименование компонентов, входящих в материал	Процентное содержание
1.	Древесная стружка (в основном древесина сосны), согласно ситевому составу, имеющие следующий фракционный состав: 10-5 мм – 18%, 5-2 мм – 60%, 2-0,25 мм – 21%, древесная пыль – 1%.	40
2.	Минеральный наполнитель – сульфат бария (BaSO ₄)	30
3.	Связующее - карбамидоформальдегидная смола КФ-МТ-15 (М) и хлористый аммоний (в количестве 1% от смолы)	30

Режим прессования

№п/п	Наименование параметра	Значение
1.	Температура плит пресса, °С	160±5
2.	Удельное давление прессования, МПа	1,8±0,2
3.	Влажность стружки, %	6±1
4.	Время прессования (двухсторонний прогрев), мин	7±1
5.	Толщина материала, мм	13±0,1
6.	Вид прессования	на дистанционных планках

Представители ООО «БиКдрев»:
 Главный инженер
 _____ Э.С. Масагутов
 Начальник производства
 _____ А.Л. Мамаев

Представители УГЛТУ
 Заведующий кафедрой МОДиПБ
 _____ О.Н. Чернышев
 Заведующий кафедрой АИТ
 _____ А.Г. Гороховский
 Доцент кафедры МОДиПБ
 _____ И.В. Яцун

УТВЕРЖДАЮ:
 Директор ООО «БиКдрев»
 И.В. Костышев
 «27» июня 2019 г.



АКТ

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер Масагутов Э.С., начальник производства Мамаев А.Л., заведующий кафедрой МОДиПБ Чернышев О.Н., заведующий кафедрой АИТ Гороховский А.Г., доцент кафедры МОДиПБ Яцун И.В., составили настоящий акт в том, что 27 июня 2019 г. на ООО «БиКдрев» (г. Екатеринбург) изготовили опытно-промышленную партию рентгенозащитного плитного материала на основе опила «DS-1», общим объемом 0,156 м³. Запрессовка осуществлялась на горячем гидравлическом прессе NPC 4/70 ORMA.

Исходные материалы

№п/п	Наименование компонентов, входящих в материал	Процентное содержание
1.	Древесные опилки (порода древесины значения не имеет), согласно ситевому составу, имеющие следующий фракционный состав: 2-1 мм – 20%, 1-0,25 мм – 25%, древесная пыль – 55%.	45
2.	Минеральный наполнитель – сульфат бария (BaSO ₄)	30
3.	Порошковый клей Kaurit Leim 122 Pulver (Германия)	25

Режим прессования

№п/п	Наименование параметра	Значение
1.	Температура плит пресса, °С	160±5
2.	Удельное давление прессования, МПа	1,8±0,2
3.	Влажность стружки, %	6±1
4.	Время прессования (двухсторонний прогрев), мин	8±1
5.	Толщина материала, мм	16±0,1
6.	Вид прессования	на дистанционных планках

Представители ООО «БиКдрев»:
 Главный инженер
 _____ Э.С. Масагутов
 Начальник производства
 _____ А.Л. Мамаев

Представители УГЛТУ
 Заведующий кафедрой МОДиПБ
 _____ О.Н. Чернышев
 Заведующий кафедрой АИТ
 _____ А.Г. Гороховский
 Доцент кафедры МОДиПБ
 _____ И.В. Яцун

ПРОТОКОЛ

заседания комиссии по подведению итогов конкурса на лучший экспонат
Международных выставок-ярмарок
"АРХИТЕКТУРА. СТРОИТЕЛЬСТВО", "ЛЕС. ДЕРЕВООБРАБОТКА"

г. Новокузнецк

5.01.1998 г.

Комиссия в составе:

- Председатель:** Черноиваненко В.А., начальник Главного Управления архитектуры и градостроительства Администрации Кемеровской области;
- Члены комиссии:** Бедарев В.В., к.т.н., зам. главного инженера ОАО "Кузнецкпромстрой", г. Новокузнецк;
- Кореньков А.И., к.т.н., доцент, зав. кафедрой "Теплогасоснабжение и вентиляция" СибГИУ, г. Новокузнецк;
- Кузеванова И.А., директор Центра научно-технической информации Администрации Кемеровской области;
- Любимов С.Н., директор выставок-ярмарок "Архитектура. Строительство", "Лес. Деревообработка";
- Никифоров К.К., начальник Управления лесотехнического комплекса Администрации Кемеровской области;
- Панова В.Ф., к.т.н., доцент кафедры "Архитектура и строительные материалы" СибГИУ, г. Новокузнецк;
- Тен А.А., председатель Правления Новокузнецкой организации Союза архитекторов России

подвела итоги конкурса на лучший экспонат Международных выставок-ярмарок "Архитектура. Строительство", "Лес. Деревообработка".

На конкурс подано 54 заявки, представляющие натурные экспонаты, макеты, техническую документацию и рекламные проспекты.

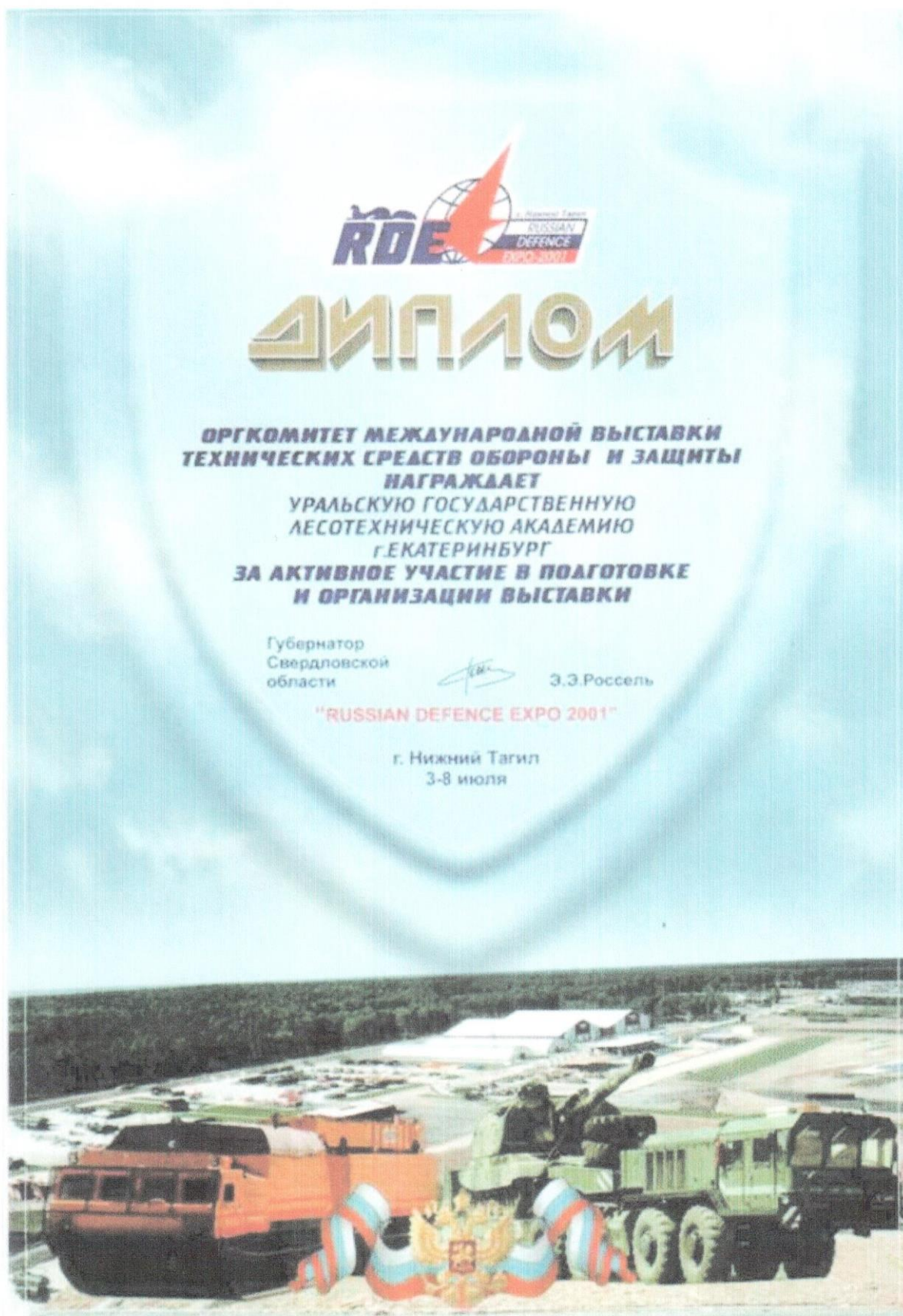
Обсудив достоинства экспонатов, представленных на конкурс, комиссия решила:

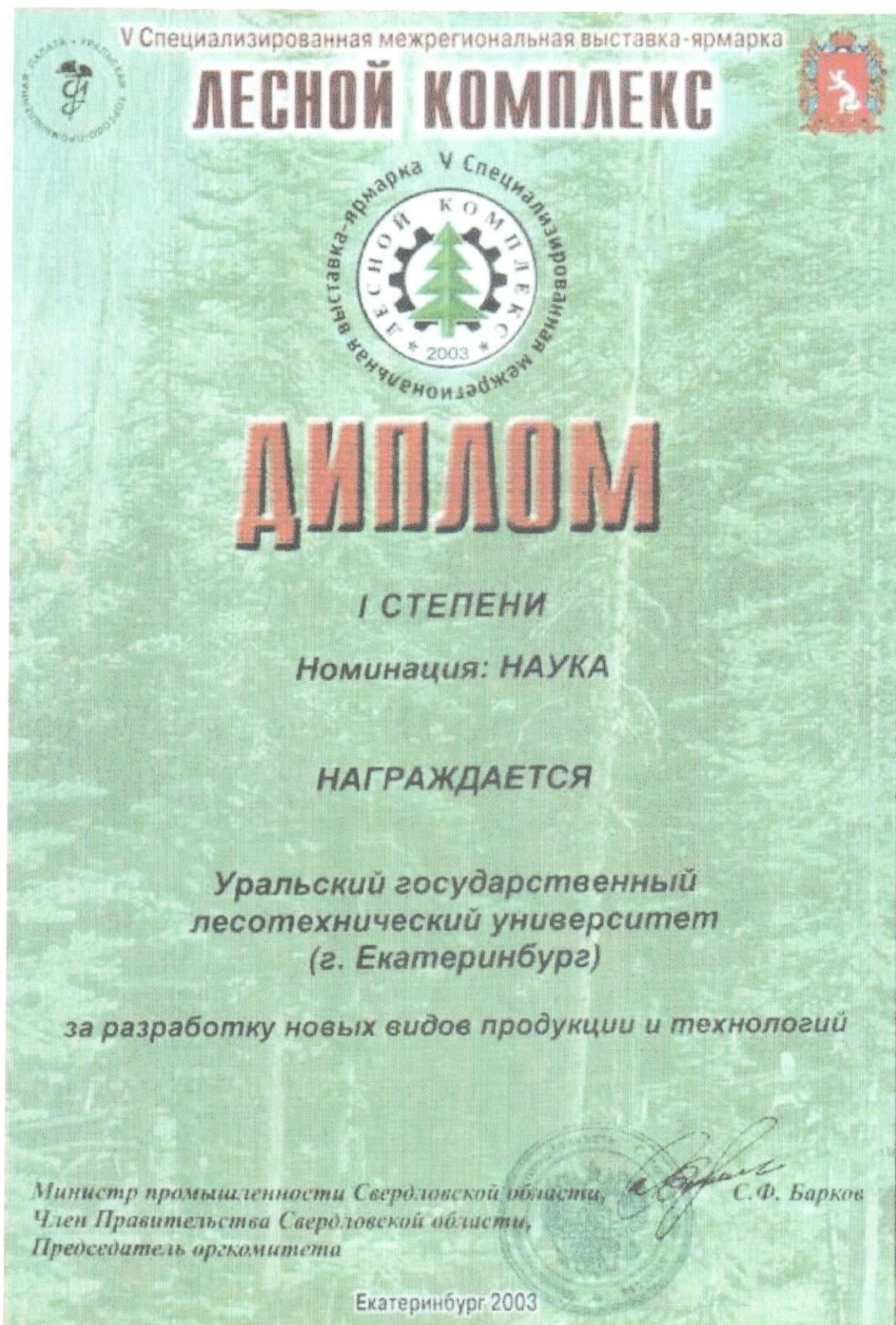
1. Отметить высокий уровень следующих экспонатов:

1. вибратор электромеханический. ("Ярославский завод Красный маяк", г. Ярославль);
2. конвейерная линия для изготовления ячеисто-бетонных изделий. (АООТ "Сибинвестстром", г. Новокузнецк);
3. двустворчатый оконный блок из ПВХ. (Промышленно-строительный трест, г. Кемерово);
4. лестница приставная разборная Н-14М. (ЛПТТ-14); лестница приставная разборная ЛПНА-3500. (АОЗТ "Новолокс", г. Новокузнецк);
5. сепаратор центробежный УОР-301У (СЦ-1,5). (ГП "Машиностроительный завод им. Ф.Э.Дзержинского", г. Пермь);
6. бензопила "Тайга-245". (ГП "Машиностроительный завод им. Ф.Э. Дзержинского", г. Пермь);
7. мелкоштучные стеновые изделия; комплект железобетонных изделий для гаража индивидуальные, тротуарные плиты мозаичные, бетонные. (АООТ "Кузнецкпромстрой", г. Новокузнецк);
8. оконные и балконные блоки евростандарта. (ТОО "Деревообрабатывающий завод "Финестра", г. Кемерово);

9. рельефная краска-покрытие для внутренних и наружных работ. (ЗАО "Декорум", г. Новокузнецк);
10. санитарно-технические изделия из полимеров. (ОАО "Новокузнецкий завод монтажных заготовок", г. Новокузнецк);
11. полимерная кровельная и газо-гидроизолирующая композиция "Поликров". (ЗАО "Поликров-ЧРЗ", г. Москва);
12. оконный блок арочный (евростандарт) с двухкамерным стеклопакетом. (ОАО "Концерн "Кузбассшахтострой", г. Кемерово);
13. разработка проектно-сметной документации для объектов строительства. (ГПИ "Сибирский Промстройпроект", г. Новокузнецк);
14. пластиковые панели HAROL - group PLASTIVAN коллекции PROPI-LINE, PRO-LINE. (ООО "Илмакс", Беларусь, г. Минск);
15. гипсоволокнистый лист, комплектные системы Авангард KNAUF (отделка помещений сухим способом). (ОАО "Авангард KNAUF", г. Дзержинск, Нижегородская обл.);
16. плитки бетонные, ПДФ. (ОАО "Кузнецкишстрой", г. Мыски);
17. электроустановочная фурнитура европейского качества. (ЗАО "Летен", г. Дубна, Московская обл.);
18. лифты пассажирские, грузопассажирские, больничные и грузовые грузоподъемностью от 100 до 5000 кг. (Завод "Могилевлифтмаш", Беларусь, г. Могилев);
19. вентиляционное оборудование. (ОАО "Нижнетурицкий машиностроительный завод "Вента", г. Нижняя Тура, Свердловская обл.);
20. длинноволновые электрические обогреватели потолочного крепления "Эко Лайн". (ООО "Техноремстрой", г. Новокузнецк);
21. видеофон "SVP-1000". (ООО "ТрансСибЭкспресс", г. Бердск);
22. комплект автоматических распашных ворот. ("Эвриком-Кузбасс", г. Новокузнецк);
23. проектные работы, разработка новых технологий, поставка лесоперерабатывающего оборудования, инструмента, монтаж, установка и т.д.. (ООО "Проектсервис", г. Екатеринбург);
24. полукombineзон (спецодежда). (Фирма "ЛИК", г. Новосибирск);
25. оконные блоки, витражи, арочные окна с тройным остеклением из дерева. (ООО "Экатэ", г. Бийск, Алтайский край);
26. набор мягкой мебели "Ливия". (ООО "СКС", г. Томск);
27. кухонный набор "Снежок"; малогабаритная прихожая "Парус". (ООО "Огийко и К", г. Томск);
28. кровельный материал "Атаклон". (ОАО "Омсккровля", г. Омск);
29. окно из комбинированных профилей. (ЗАО "Завод Мосметаллоконструкция", г. Видное, Московская обл.);
30. набор мебели для прихожей "Анюта". (ООО "Кузбассмебель", г. Новокузнецк);
31. ремонтно-строительные работы. (ПСФ "Амальгама", г. Новокузнецк);
32. оригинальная информационно-маркетинговая технология продвижения отечественной продукции, разработок "ноу-хау" на рынки России, СНГ и дальнего зарубежья. (ЗАО "Издательский Дом "Атланты", г. Москва);
33. наружные облицовочные панели SIPING (американская технология). (ТОО "Холд", г. Новокузнецк);
34. камеры для сушки пиломатериала. (Koetter Dry Kiln Inc., г. Новосибирск);
35. легкий волнистый кровельный лист "Ондулин". (ООО "Протект" Новокузнецкий филиал, г. Новокузнецк);
36. балконный блок (пластиковый). (ОАО "Компания "Барколь", г. Новокузнецк);
37. стеновые панели, пол-ламинаб. (ЗАО "Кузбассдом", г. Новокузнецк);
38. стол журнальный "STRADIVARY". (Дом мебели "Леонардо", г. Новокузнецк);
39. защитный, слоистый материал, разработка конструкции, технологии. (Уральская Государственная лесотехническая академия, г. Екатеринбург);
40. сварочный полуавтомат, переносные мойки высокого давления. (ЧП "Спецавтореминструмент", г. Новокузнецк);











Урал Древо

ДОМОСТРОЕНИЕ - ОБОРУДОВАНИЕ - ТЕХНОЛОГИИ
межрегиональная специализированная выставка-конференция

ДИПЛОМ

награждается

Кафедра механической обработки древесины УГЛТУ

*За разработку рентгенозащитных материалов
на основе древесины «ФаноТрен» и «Плитотрен»*

Заместитель
Главы Екатеринбурга

В.П. Крицкий

Екатеринбург
14-17 ноября 2007



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Воронежская государственная лесотехническая академия»

СЕРТИФИКАТ

Подтверждает, что

Яцун Ирина Валерьевна

Участвовал (а)

В МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**«АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ XXI ВЕКА: ТЕОРИЯ И
ПРАКТИКА»**

Ректор ФГБОУ ВПО «ВГЛТА»

Д.т.н., профессор



Бугаков В.М.

17.01.2014
г. Воронеж



2019

НЕДЕЛЯ ОТРАСЛЕВЫХ ВЫСТАВОК

CERTIFICATE



ЯЦУН ИРИНА ВАЛЕРЬЕВНА

приняла активное участие в организации и проведении
XIV Международного евразийского симпозиума
«Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века»
17-20 сентября 2019 г. в г. Екатеринбурге с докладом
«Влияние количества минерального наполнителя на физико-
механические свойства древесных плит «Плитотрен» и DS-1»

Генеральный директор
МВК-Урал



Е.В. Ревенко

Врио ректора
УГЛУ



Е.П. Платонов



17-20 сентября 2019
Россия, Екатеринбург