

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Сибирский государственный университет науки и технологий имени  
академика М. Ф. Решетнева»**

*На правах рукописи*



**Эскин Владислав Дмитриевич**

**ПОЛУЧЕНИЕ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ БЕЗ  
СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОРЫ СОСНЫ  
ОБЫКНОВЕННОЙ**

4.3.4 – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и  
переработки древесины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель:  
д-р техн. наук, профессор  
Ермолин В. Н.**

Красноярск – 2026

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	11
1.1 Отходы окорки .....	11
1.2 Свойства отходов окорки .....	12
1.3 Применение измельченной коры в производстве плитных материалов....	16
1.4 Способы подготовки коры для получения плитных материалов .....	24
1.5 Предпосылки формирования аутогезионных связей в плитах на основе гидродинамически обработанной коры хвойных .....	35
Выводы к первой главе.....	40
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА .....	42
2.1 Сырье и материалы .....	42
2.2 Оборудование для проведения эксперимента.....	44
2.3 Методика проведения предварительного измельчения коры .....	44
2.4 Проведение гидродинамической обработки .....	45
2.5 Определение степени помола гидродинамически обработанной коры .....	48
2.6 Определение фракционного состава гидродинамически обработанной коры .....	49
2.7 Отделение мелкодисперсной фракции частиц коры от пресс-массы.....	49
2.8 Определение водоудерживающей способности (метод Jaume) .....	50
2.9 Проведение горячего прессования .....	51
2.10 Определение физико-механических свойств плит .....	53
2.11 Планирование экспериментальных исследований .....	56
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПЛИТ СЧЕТ АУТОГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ЧАСТИЦ КОРЫ.....	64
3.1 Влияние способа подготовки корьевой массы на свойства плит .....	64
3.2 Влияния гидродинамической обработки на фракционный состав корьевой массы .....	69
3.3 Влияние мелкодисперсной фракции на физико-механические свойства плит.....	75
Выводы по главе 3.....	81

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРЫ НА СВОЙСТВА ПЛИТ .....	83
4.1 Влияние параметров гидродинамической обработки на физико- механические свойства плит без связующих .....	83
4.2 Решение оптимизационной задачи.....	95
Выводы по главе 4.....	96
ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛИТ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ .....	97
5.1 Исследование влияния температуры прессования на физико-механические свойства плит.....	97
5.2 Исследование влияния влажности корьевой пресс-массы на физико- механические свойства плит.....	99
5.3 Исследование влияния продолжительности горячего прессования на физико-механические свойства плит .....	100
5.4 Результаты исследования влияния режимных параметров горячего прессования на физико-механические свойства плит.....	101
Выводы по главе 5.....	115
ГЛАВА 6. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ ИЗ КОРЫ ХВОЙНЫХ .....	116
Выводы по главе 6.....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	125
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	147
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	160

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Древесная кора является крупнотоннажным отходом лесопромышленного комплекса, требующим эффективной переработки. Ежегодно лесозаготовительная и деревоперерабатывающая отрасли генерируют свыше 2 млн тонн коры, которая в большинстве случаев сжигается или вывозится в отвалы, что приводит к серьезным экологическим проблемам: загрязнению атмосферы, деградации почв и потере потенциально ценного сырья, которое может быть рационально переработано в материалы с высокой добавленной стоимостью. Утилизация коры методами сжигания крайне неэффективна по причине высокого содержания в кородревесных отходах минеральных примесей, а также высокой влажности и зольности коры.

Значительный научный и практический интерес в контексте рационального использования природных ресурсов вызывает возможность переработки древесной коры в плитные материалы без использования связующих веществ. Разработка технологии переработки коры в плитные материалы позволит не только сократить нагрузку на окружающую среду, но и создать новые экономические возможности для предприятий минимизируя зависимость от складирования и захоронения отходов окорки.

Мировой опыт использования древесной коры в качестве самостоятельного сырья или наполнителя для плитных материалов указывает на негативное влияние коры на прочностные свойства получаемых материалов. Большое количество научной литературы свидетельствует о том, что это связано с пористым строением и низкой механической прочностью коры в сравнении с древесиной. При добавлении коры хвойных пород в древесно-стружечные плиты значительно снижаются показатели прочности при изгибе и увеличивается водопоглощение и разбухание материала, также увеличивается расход связующего [1-3]. Аналогичная зависимость отмечается при добавлении коры в древесно-волоконистые плиты [4, 5].

В тоже время в литературе отмечается, что при мелкодисперсном измельчении частиц коры до размеров менее 1 мм и добавлении таких частиц в плитные материалы прочностные показатели плит не ухудшаются, а показатели разбухания и водопоглощения снижаются [6, 7]. Многие исследователи-ученые связывают это с разрушением пористой структуры коры. Существует опыт получения пьезотермопластиков на основе коры хвойных пород. Ряд известных научных исследований свидетельствует о высоких показателях прочности и влагостойкости готовых пластиков. При изготовлении пьезотермопластиков также отмечается необходимость мелкодисперсного измельчения коры для повышения свойств материалов.

Особую актуальность исследованию придает возможность отказа от применения синтетических связующих веществ традиционно используемых в производстве древесных плит (феноло- и карбамидоформальдегидные смолы). Смолы негативно влияют на здоровье человека как при производстве плит, так и при их дальнейшей эксплуатации. Производство смол связано с высокими энергозатратами и использованием истощимых источников сырья. Получение плитных материалов на основе коры без добавления связующих открывает путь к экологически чистым технологиям. Данное направление соответствует мировым трендам развития биотехнологий и глубокой переработки возобновляемого сырья, что особенно важно в условиях исчерпания полезных ресурсов.

#### **Степень разработанности темы:**

Значительный вклад в изучение анатомического строения древесной коры хвойных пород внесли Лотова Л. И., Еремин В. М, Браунинг Б. Л. и др. Подробно изученное строение древесной коры позволяет предполагать возможные направления и способы её эффективной переработки. Вклад в изучение древесно-волокнистых материалов внесли Леонович А. А., Солечник Н.Я., Ласкеев П. Х., Ребрин С. П., Бекетов В. Д., Алашкевич Ю. Д. Вклад в изучение путей рациональной переработки и свойств отходов окорки внесли Цывин М. М., Симонов М. Н., Рязанова Т. В., Шарков В. И., Прикот Н. Г., Житков А. В. и др.

Разработано большое количество способов переработки древесной коры как хвойных, так и лиственных пород, однако унифицированных технологий, получивших масштабное распространение до настоящего времени, не существует. Интерес к получению пьезотермопластиков, лигноуглеводных пластиков и плитных материалов без связующих веществ на основе древесной коры проявился ориентировочно в 1960-х годах. Проведенные в 1980 году исследования по получению лигноуглеводных пластиков из сосновой коры в Уральском лесотехническом институте свидетельствуют о возможности получения подобных материалов, однако полученные материалы обладают сравнительно низкими прочностными показателями при достаточно высокой плотности свыше  $1200 \text{ кг/м}^3$  [8].

**Цель исследования:**

Разработка технологии получения плитных материалов из гидродинамически обработанной древесной коры без применения связующих веществ.

Для раскрытия цели исследования предлагается решить следующие **задачи:**

- исследовать механизм структурообразования плитных материалов за счет аутогезионного взаимодействия гидродинамически обработанных частиц коры сосны;
- изучить закономерности влияния параметров гидродинамической обработки коры сосны на свойства плитных материалов без связующих веществ;
- определить влияние режимных параметров процесса горячего прессования гидродинамически обработанной коры сосны на физико-механические свойства плитных материалов;
- разработать технологическую схему производства плит без связующих веществ из коры хвойных пород древесины;
- оценить технико-экономическую эффективность производства плит из коры хвойных.

**Научная новизна работы:**

1) Впервые исследованы закономерности формирования структуры плитных материалов из коры без связующих веществ за счет аутогезионного взаимодействия гидродинамически обработанных частиц коры сосны.

2) Впервые разработана схема формирования структуры плитного материала из гидродинамически обработанных частиц коры сосны.

3) Впервые установлены закономерности влияния параметров гидродинамической обработки и режимов горячего прессования коры сосны на физико-механические свойства плитных материалов без связующих веществ.

**Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы заключается в определении закономерностей формирования структуры плит из гидродинамически обработанных частиц коры за счет аутогезионного взаимодействия без применения связующих веществ.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологии переработки отходов окорки хвойных пород древесины путем получения плитных материалов методом горячего прессования без использования связующих веществ. Разработанная технология позволяет изготавливать плитный материал с заранее заданными свойствами за счет возможности варьирования технологических параметров.

Результаты исследований включены в план развития предприятия ООО «БИОЛЕСПРОМ» (Вологодская обл., с. Верховажье) и будут использованы для внедрения в производство на ООО «Демьяновский завод ДВП» (Кировская обл., пос. Демьяново).

**Объект исследований:** переработка коры хвойных пород древесины.

**Предмет исследований:** технология производства плитных материалов без использования связующих веществ из отходов окорки хвойных пород древесины, подвергшихся гидродинамической обработке.

**Методология и методы исследования.** При выполнении диссертационной работы экспериментальные исследования проводились с

применением математической теории планирования и общепринятых методов обработки экспериментальных данных. Статистическая обработка проводилась с использованием программ *STATGRAPHICS Centurion 18* и *Microsoft Excel*.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1) Механизм формирования структуры плитных материалов без связующих веществ за счет аутогезионного взаимодействия гидродинамически обработанных частиц коры сосны;

2) Результаты экспериментальных исследований по установлению закономерностей влияния продолжительности гидродинамической обработки частиц коры сосны и концентрации массы в процессе обработки на физико-механические показатели плитных материалов без связующих веществ;

3) Результаты определения режимных параметров процесса горячего прессования гидродинамически обработанной коры сосны, обеспечивающие наилучшие физико-механические показатели плитных материалов;

4) Технология получения плитных материалов на основе гидродинамически обработанной древесной коры хвойных пород без применения связующих веществ.

**Соответствие паспорту специальности.** Представленная работа соответствует паспорту специальности 4.3.4 – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины» (п. 4 - Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах).

**Личный вклад автора** заключается в сборе и анализе литературных данных, разработке и теоретическом обосновании механизма структурообразования плитных материалов без связующих веществ из гидродинамически обработанной коры сосны, разработке методики проведения эксперимента, постановке и непосредственном проведении экспериментальных исследований, обработке полученных результатов, формулировании выводов,

написании публикаций и получении патента, представлении результатов исследований на всероссийских и международных конференциях.

**Степень достоверности диссертационной работы.** Достоверность работы обеспечена многократным повторением экспериментов, применением методов статистической обработки полученных результатов.

**Апробация результатов.** Результаты работы докладывались на Всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы - проблемы и решения» (Красноярск, 2022), Всероссийской научной конференции с международным участием «Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации» (Красноярск, 2023), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (Красноярск, 2023), Всероссийской научно-практической конференции «Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины» (Красноярск, 2023), Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» (Красноярск, 2023; 2024), Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи - лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2023), Всероссийской научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование» (Санкт-Петербург, 2023; 2025), Международной научно-практической конференции «Решетневские чтения» (Красноярск, 2023), Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Вологда, 2024).

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (Номер темы: FEFE-2024-0032).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 14 статей, в том числе 2 статьи в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий ВАК РФ. Получен патент Российской Федерации на изобретение № 2818825 С1.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация изложена на 164 страницах машинописного текста, содержит 29 таблиц и 50 рисунков. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка, включающего 154 ссылки на отечественные и зарубежные работы и 6 приложений.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

### 1.1 Отходы окорки

Важнейшим ресурсом, оказывающим влияние на экономическое благосостояние РФ, является древесина. Согласно официальным данным, представленным в Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году», на территории страны общая площадь земель, на которых расположены леса, в 2023 г составляла 1188,3 млн га. В докладе отмечено, что основную часть древесины РФ составляют лиственница, сосна, береза, ель и кедр. На долю лиственницы и сосны приходится соответственно 22087,21 и 15202,17 млн м<sup>3</sup>. На 2023 год хвойная растительность занимала 518,6 млн га, мягколиственная и твердолиственная соответственно 153,2 и 18,6 млн га. Наблюдается тенденция уменьшения площадей покрытых хвойной растительностью. В 2014 году площадь земель составляла 525 млн га, к 2023 году это число уменьшилось на 6,4 млн га. Это связано с наибольшей востребованностью и ценностью древесины хвойных пород [9]. Красноярский край является лидером по запасам древесины. На 2024 год на территории края сосредоточено 11,2 млрд м<sup>3</sup> древесины [10].

Доля коры от объема перерабатываемой древесины составляет от 7 до 15 % [11, 12]. Увеличение объемов заготовки и обработки древесины неизбежно приводит к увеличению количества отходов. Наиболее трудноперерабатываемыми и маловостребованными отходами лесопромышленного комплекса являются кородревесные отходы. Кора – это совокупность тканей стебля и корня находящихся снаружи от камбия. Кора выполняет функции необходимые дереву для роста: осуществляет проведение продуктов ассимиляции; участвует в накоплении веществ, которые необходимы

для протекания процессов жизнедеятельности дерева; защищает внутренние ткани растения от агрессивных факторов внешней среды [13].

Количество отходов коры, образуемое в настоящее время лесоперерабатывающими предприятиями, составляет более 2 млн тонн ежегодно, из которых перерабатывается не более 2 % [14]. Низкий спрос на переработку данного вида отходов обусловлен следующим: наличием более качественного сырья, не требующего дополнительных финансовых затрат и технологических операций для переработки; отсутствием универсальных и апробированных технологий переработки; разнородным фракционным и породным составом коры в отвалах; повышенной влажностью коры; высокой долей минеральных примесей в составе отходов; отсутствием спроса на новые виды продукции на российском рынке в виду достаточного объема предложений традиционных материалов и отсутствия рекламного продвижения новой продукции [15].

Таким образом, кора является перспективным полуфабрикатом с многотоннажной сырьевой базой, на основе которой возможно получение инновационных материалов с высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками, удовлетворяющими требованиям современных рынков строительных материалов.

## 1.2 Свойства отходов окорки

Количество, вид, качество, свойства и состояние кородревесных отходов, которые образуются на предприятиях лесопромышленного комплекса, зависят не только от используемой породы дерева, но и от типа окорочного оборудования и принципа его работы. К наиболее важным показателям коры относят фракционный состав, толщину, влажность, наличие древесных отщепов и минеральных примесей [15].

В настоящее время применяются следующие методы окорки: мокрая, полусухая и сухая окорка в барабанах, а также сухая окорка с использованием кулачковых кородёрок.

При мокром способе окорки кора превращается в переплетенную волокнистую массу, влажность которой составляет от 80 до 84 %. Наличие древесных отщепов в такой коре около 15-20 %. Порядка 30 % мёртвой паренхимы коры истирается в барабанах и переходит в сточную воду. При использовании сухой окорки кора мелко диспергируется, количество древесины в ней увеличивается на 1,5–2 % за счёт мелких отщепов. Влажность коры находится на уровне влажности коры на исходной древесине. Кора, получаемая на кулачковых кородёрках, обычно имеет форму полос (пластин) и слабо размочалена. Данный способ окорки позволяет сохранить все ткани коры, включая мёртвую пробковую паренхиму. Качество процесса окорки главным образом определяется физико-механическими свойствами коры. Физические свойства коры резко различаются в зависимости от породы, расположения коры в стволе, а также возраста дерева. Существенно отличаются по свойствам корковая и лубяная части коры [16].

Данные о плотности коры в литературных источниках весьма противоречивы, ввиду большой изменчивости физических свойств коры даже в условиях одного дерева. Одной из первых работ по определению плотности коры свежесрубленной древесины является работа Н. Г. Прикот [17], выполненная в 1938 году в Ленинградской лесотехнической академии. Плотность коры определялась стереометрическим методом на образцах, имеющих форму призмы различных размеров в зависимости от толщины коры. Результаты исследований Н. Г. Прикот приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Плотность коры свежесрубленной древесины

Порода	Число испытанных образцов	Средние показатели		Пределы колебаний
		влажность, %	плотность, г/м <sup>3</sup>	
Ель	15	11	0,30	0,29-0,31
Сосна	15	12	0,40	0,38-0,43

По данным Н. Л. Леонтьева [18] плотность коры при влажности 15 % в среднем составляет у сосны 686 кг/м<sup>3</sup>, у ели 738 кг/м<sup>3</sup>. Результаты исследований Н. Л. Леонтьева представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Плотность и коэффициенты объемной усушки коры свежесрубленной древесины

Порода и сортимент	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Коэффициент объемной усушки, %
	при влажности 15 %	в абсолютно сухом состоянии	
Сосна, бревна комлевые	497	473	0,60
Сосна, бревна срединные	772	735	0,60
Сосна, бревна вершинные	834	796	0,77
Среднее	688	652	0,66
Ель, бревна комлевые	711	686	0,72
Ель, бревна срединные	752	737	0,80
Ель, бревна вершинные	748	725	0,85
Среднее	737	715	0,79

Из таблицы 1.2 можно отметить, что кора с комлевых сосновых бревен обладает меньшей плотностью в сравнении с плотностью коры срединных и вершинных частей бревен. В среднем плотность соответствующей древесины значительно ниже плотности коры при влажности 15 %: для сосны на 35 %, для ели на 64 %. Коэффициент объемной усушки коры больше, чем у древесины аналогичной породы в среднем на 0,2-0,3 %.

Немаловажным показателем, характеризующим свойства древесной коры, является водопоглощение. Главным образом водопоглощение коры зависит от плотности, с увеличением которой оно уменьшается.

В таблице 1.3 приведены данные о водопоглощении коры различных пород свежесрубленной древесины. Величина разбухания коры изученных пород в основном соответствует величине разбухания древесины той же породы [17].

Таблица 1.3 – Водопоглощение коры свежесрубленной древесины

Порода	Водопоглощение, %, через				
	1 ч	1 сут	10 сут	30 сут	50 сут
Ель	28	81	106	128	140
Лиственница	17	37	77	124	149
Сосна	13	38	91	170	203

Специфика процесса окорки древесины в подавляющем большинстве окорочного оборудования подразумевает скалывание коры вдоль и поперек волокон, следовательно, наиболее важным параметром является предел прочности коры на скалывание по камбиальному слою. Величина этого параметра зависит от влажности, температуры и, главным образом, породы древесины [19]. В таблице 1.4 приведены показатели предела прочности коры на скалывание при различной влажности [20].

Таблица 1.4 – Прочность древесной коры на скалывание вдоль волокон

Порода древесины	Предел прочности на скалывание коры вдоль волокон, МПа, при влажности древесины, %						
	30	40	50	70	100	130	150
Свежесрубленная							
Сосна	-	1,06	-	0,76	0,50	0,40	0,32
Ель	2,06	-	1,4	0,84	0,46	0,29	-
Сплавная							
Сосна	1,56	-	0,84	-	0,45	-	-
Ель	-	1,40	-	0,65	-	0,37	-

Сила сцепления коры с древесиной зависит также от температуры древесины. Влияние температуры заключается в том, что при снижении температуры силы сцепления могут увеличиваться в 5 раз.

Таким образом, свойства отходов окорки существенно различаются в зависимости от породного состава, влажности и расположения коры в стволе дерева, что не позволяет перерабатывать их с применением традиционных технологий, подразумевающих строгое контролирование таких параметров.

### 1.3 Применение измельченной коры в производстве плитных материалов

#### 1.3.1 Получение плитных материалов с использованием древесной коры

Получение конструкционных плитных материалов на основе отходов окорки является перспективным направлением переработки ввиду многотоннажной сырьевой базы, а также высокого спроса на строительные материалы. Однако анализ публикаций [21, 22] указывает на то, что при использовании коры в качестве наполнителя в плитных материалах происходит значительное снижение показателей прочности и водостойкости плит. В первую очередь это связано с низкой природной прочностью коры из-за сравнительно меньшего количества целлюлозы и гемицеллюлоз в сравнении с древесиной [15, 23]. Для сравнения: в древесине сосны содержится 44 % целлюлозы, в сосновой коре – от 14 до 19 % целлюлозы для корки и от 17 до 24 % для луба. Кроме того, кора имеет высокое содержание экстрактивных веществ и минеральных примесей (до 25 % и до 10 % соответственно), что также негативно влияет на образование прочных клеевых структур при формировании плитных материалов на основе синтетических или минеральных связующих [24].

Известен опыт применения коры сосны обыкновенной в плитных материалах на основе минеральных вяжущих – гипса и портландцемента. Отмечается, что при увеличении количества коры в составе материала значительно снижается прочность и плотность материала, однако использование мелкой фракции коры увеличивает эти показатели, но снижает теплоизоляционные свойства. Авторы считают, что увеличение прочности связано с более гомогенным распределением материалов в составе композита [25]. В работе [26] также отмечается, что более тонкоизмельченные частицы коры в составе материала обладают наиболее высоким коэффициентом теплопроводности, что может свидетельствовать о более плотной упаковке частиц и увеличении плотности материала.

Применение коры в качестве наполнителя для стружечных и волокнистых плит всегда представляло интерес для научного сообщества ввиду перспективы

создания более дешевого плитного материала за счет использования в качестве сырья отходов окорки [1, 27-30]. Однако существует ряд факторов, которые не позволяют заменить волокнистые и стружечные полуфабрикаты на древесную кору. К ним относятся: низкие прочностные показатели плит в сравнении с традиционными плитными материалами ввиду низкой механической прочности исходной коры; увеличенный расход связующего из-за высокой пористости крупноразмерных частиц коры; разнородность отходов окорки ввиду трудоемкости разделения лубяной и корковой части коры. Тем не менее анализ работ [2, 31] указывает на значительный интерес к коре как к наполнителю для плитных материалов. В 1970-х годах коллектив исследователей занялся вопросом использования отходов окорки для изготовления древесно-стружечных плит. Aaron R. Jr. [32] определил, что содержание коры до 10 % не оказывает существенного влияния на свойства древесно-стружечных плит. В работах Lehmann W. F., Geimer, R. L., Nemli G., Çolakoğlu G. [1, 33] также выявлена зависимость снижения прочностных свойств при увеличении доли коры. Muszynski Z., McNatt J. D. [3] определили увеличение набухания по толщине и водопоглощения плит. Аналогичная зависимость набухания по толщине была определена Ngueho Yemele, Blanchet P. и др. [30, 34].

О негативном влиянии частиц коры при добавлении в состав стружечной плиты сказано в работе [2]. Авторы утверждают, что при добавлении частиц коры сосны обыкновенной с размерами 0,237 мм в состав древесно-стружечной плиты в значительной степени увеличивается показатель разбухания плит, что по мнению авторов связано с большим естественным набуханием коры в сравнении с древесиной. Как отмечается в работе [35], кора обладает пористой структурой с крупными полостями между структурными элементами. Можно предположить, что при проведении испытаний материалов, в составе которых содержится древесная кора, на показатели влагостойкости широкие полости коры заполняются водой, что приводит к увеличению геометрических размеров частиц и, как следствие, к увеличению показателя разбухания готовых материалов.

Учеными из Свердловского научно-исследовательского института переработки древесины был предложен способ улучшения качества плит за счет использования частиц коры с высоким показателем тонкости. В качестве сырья использовали отходы окорки ели с влажностью 50 – 70 %, которые подвергались измельчению на молотковой мельнице. Авторы отмечают, что после измельчения луб коры переходит в состояние волокнистых частиц, толщина которых составляет около 0,23 мм при средней толщине частиц 0,32 мм, что соответствует показателю тонкости 60. Из полученных частиц изготовили плиты согласно стандартному режиму прессования стружечных плит, в качестве связующего выступала мочевиноформальдегидная смола УКС марки А. Свойства полученных материалов составили: напряжение при статическом изгибе 11,7 МПа; разбухание 24,5 %; водопоглощение 65,8 % [36]. Таким образом, можно отметить, что использование измельченной в молотковой мельнице коры не позволяет получить плиты с высокими показателями прочности и влагостойкости. Аналогичного мнения придерживаются авторы работы [37], которые выдвигают предположение, что низкая прочность материалов на основе коры связана с различием размерных характеристик частиц используемых для производства плит.

В работе [4] представлены исследования, посвященные определению возможности использования коры для получения древесно-волокнистых плит. В качестве сырья использовали механически измельченную сосновую кору. Измельчение осуществлялось в мельнице для сухого размола. Содержание коры в древесно-волокнистой плите варьировалось от 2 до 18 % по соотношению к массе абсолютно сухого волокна. Размеры частиц коры варьировались от 0,4 до 0,6 мм. В полученную путем двухступенчатого размола щепы на дефибраторе и рафинаторе волокнистую массу из лиственных пород добавляли фенолоформальдегидную смолу, кору необходимой фракции, парафиновую эмульсию и водный раствор серной кислоты. Прессование плиты производилось мокрым способом. Плотность материала достигает 937 кг/м<sup>3</sup>, прочность 44,6 МПа, водопоглощение и набухание 25,3 % и 15,84 % соответственно.

Авторами установлено, что содержание коры в количестве 18 % значительно изменяет цвет плиты и увеличивает шероховатость. При содержании частиц коры в количестве 10 % и размера частиц коры 0,5 мм достигаются наилучшие показатели прочности и водостойкости плит. Проведенные исследования показывают, что значительное влияние на физико-механические показатели плит имеет фракционный состав коры, так с уменьшением размеров частиц свойства плит улучшаются.

В работе [5] приведены исследования возможности получения изоляционных древесно-волоконистых плит с добавлением коры хвойных пород древесины. Авторами установлено, что введение в состав плиты частиц коры имеющих размер 0,6 мм в количестве 15 % к абсолютно сухому веществу (а.с.в.) не снижает предел прочности ниже требуемого по ГОСТ 4598–86, полученные свойства соответствуют плите марки М-3. Как отмечают авторы, чтобы разрабатываемая в работе плита соответствовала марке М-1, необходимо измельчать кору до фракции 0,05 мм, а количество её в составе плиты не должно превышать 5 % к а.с.в. Также в работе указывается, что частицы коры с размером 0,6 мм при содержании в плите в количестве 13,5 % к а.с.в. значительно ухудшают показатели водопоглощения, для снижения этого показателя авторами предложено использование коры с размерами от 0,05 до 0,315 мм в количестве 15 % и частиц, имеющих размер 0,6 мм в количестве 10 % к а.с.в. Анализируя работу авторов также можно отметить, что показатели прочности и водопоглощения плит улучшаются в том случае, когда размерные характеристики частиц коры уменьшаются.

Возможность переработки коры в плитные материалы привлекает внимание отечественных и зарубежных ученых. Основная проблема получения плит на основе коры заключается в низких прочностных показателях получаемых материалов. Основываясь на анализе источников, можно предположить, что необходимо более мелкодисперсное измельчение коры для достижения высоких прочностных показателей плит, в которые добавляют частицы. Ввиду того, что кора имеет очень пористую структуру, которая в результате прессования плохо

уплотняется и восстанавливает свою форму после окончания процесса прессования, нарушается целостность плиты и снижаются показатели прочности и водостойкости. Похожую гипотезу отметили авторы работы [2]. По их мнению, одной из причин увеличения показателя разбухания плит с добавлением коры является релаксация напряжений коры после прессования плит, что также приводит к разрушению связей между частицами. Использование мелкодисперсного измельчения позволяет устранить негативное влияние свойств исходной коры. В таком случае свойства материалов не уступают традиционным плитным материалам на основе древесного сырья.

Таким образом, использование коры в качестве сырья для получения плитных материалов с использованием традиционных способов механического измельчения не позволяет получать плиты с высокими физико-механическими свойствами. При этом свойства плит в значительной степени зависят от фракционного состава и повышаются с уменьшением размерных характеристик частиц коры.

### 1.3.2 Получение плитных материалов на основе коры без применения связующих веществ

Современным трендом является получение экологически чистых материалов, которые могут применяться в строительстве и отделке жилых помещений. С каждым годом вопрос экологической безопасности материалов и технологий становится более актуальным как в нашей стране, так и за её пределами. Одним из путей получения таких материалов является изготовление древесных плит без связующих компонентов. Формирование плитных материалов без связующих возможно обеспечить предварительной обработкой исходного древесного сырья, в результате которой будут возникать предпосылки для образования структуры плитного материала. Как отмечается в работе [38], формирование материала на основе древесного сырья может обуславливаться механическими зацеплениями, а также протекающими физико-химическими взаимодействиями между компонентами древесины. Согласно работе [39], в которой измельчение древесины достигается в результате гидродинамического

воздействия за счет возникающих кавитационных явлений происходит фибриллирование частиц древесины в результате расслоения стенок клеток на пучки микрофибрилл. Авторы утверждают, что такое разрушение приводит к образованию новых межфазных поверхностей, имеющих активные функциональные группы, ранее участвующие в формировании надмолекулярных структур компонентов стенок клетки древесины.

Можно предположить, что выбор способа предварительной подготовки сырья при изготовлении плит без связующих будет влиять на процесс структурообразования плит и в случае использования в качестве исходного сырья древесной коры. Как было упомянуто выше, при добавление древесной коры в традиционные плитные материалы на основе синтетических связующих прочность плит снижается, что многие авторы связывают с размерными характеристиками частиц коры, а также с химическим и анатомическим строением коры.

Наиболее разработанным направлением переработки коры в плитную продукцию без использования связующих веществ является получение теплоизоляционных материалов. Это обусловлено высокими теплоизоляционными свойствами коры, однако существует ряд факторов, затрудняющих процесс получения такого материала: высокая пористость крупных частиц коры, что приводит к поглощению влаги готовым материалом и отрицательно сказывается на его теплоизолирующих свойствах; увеличенный расход гидрофобизирующих добавок или клеев также связанный с высокой пористостью коры [35, 40, 41].

Существует опыт отечественных и зарубежных исследователей по использованию древесной коры в качестве сырья для производства теплоизоляционных материалов. Работа [42] посвящена получению теплоизоляционного материала из сосновой коры, измельченной в микромельнице и её экстракта. Кору измельчали в абсолютно сухом состоянии при частоте вращения ножей ротора 2000 об/мин в течение 3 мин. Отмечается, что измельчение коры данным способом позволяет разрушить её клетки, что

обеспечивает доступ к биологически активным веществам, что в свою очередь увеличивает поверхность контакта экстрагента с растительной массой. Водный экстракт получали путем обработки коры водяным паром в экстракторе. Полученный экстракт и кора смешивались в принятых пропорциях. Для сравнения был изготовлен контрольный образец, в котором экстракт заменялся дистиллированной водой. После изготовления образцы материала выдерживались в естественных условиях при температуре 23 °С в течение 24-х часов. Прочность полученных образцов после 7-ми суток набора прочности составила 0,46 и 0,51 МПа в зависимости от используемого экстракта, коэффициент теплопроводности –  $(0,164 \pm 0,04)$  Вт/(м·К). Прочность контрольного образца составила 0,29 МПа. Из представленных данных можно отметить, что механическое измельчение сухой коры не может обеспечить требуемые прочностные показатели материала без использования дополнительных связующих веществ.

В работе [43] подготовка коры для получения теплоизоляции без связующих из коры черной ели осуществлялась с помощью струи воды в процессе окорки бревен. Авторы отмечают, что из-за высокого давления воды, порядка 200 бар, разрушение коры приводило к образованию крупных волокнистых частиц. После измельчения изготавливались плиты различной плотности мокрым способом. Теплоизоляционные свойства готовых плит варьировались в пределах от 0,044 Вт/м·К при плотности 164 кг/м<sup>3</sup> до 0,063 Вт/м·К при плотности 276 кг/м<sup>3</sup>. Водопоглощение за 24 ч – до 380 %, разбухание по толщине – не более 25 %. Приведенные данные показателя водопоглощения свидетельствуют о низких показателях водостойкости теплоизоляционных плит, что вероятнее всего объясняется способом подготовки коры, а именно образованием крупных волокнистых частиц в процессе измельчения струей воды. Крупные волокнистые частицы коры обладают существенно большей способностью поглощать воду, чем частицы мелкой фракции.

Таким образом, способ подготовки коры при получении теплоизоляционных материалов оказывает существенное влияние на

образование структуры материалов и их прочностные характеристики. При этом следует отметить необходимость измельчения коры до мелкодисперсного состояния. Аналогичные результаты приводятся в работах других авторов [44-46], посвященных получению плитных материалов с использованием коры.

В работе [44] получена плита без связующих веществ толщиной равной 4 мм на основе сосновой коры, предлагаемая авторами в качестве подложки под ламинат для замены дорогостоящей пробковой подложки. Измельчение коры осуществлялось до фракции от пыли до 7 мм. Измельченная кора подпрессовывалась в форме, затем осуществлялось горячее прессование при температуре 150 °С. Полученная плита имела плотность 1100 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при изгибе – 9,1 МПа, водопоглощение и разбухание – 15,4 и 16,2 % соответственно. Авторами работы [45] были получены плиты на основе тонкоизмельченной сосновой коры. Влажность исходной коры составляла 40 %, высушенной 2-3 %. Прессование осуществлялось при температурах 170, 200 и 230 °С. Авторами установлена зависимость увеличения прочности при увеличении температуры прессования. Повышение свойств плит начинается при температуре 200 °С, что по мнению авторов подтверждают выдвигаемую гипотезу о полимеризации и размягчении лигнина и экстрактивных веществ при высоких температурах. Прочность плит при температуре прессования 170 °С составляла 2,01 МПа, а при температуре прессования 230 °С прочность увеличилась в 4 раза.

Авторами работы [46] установлено, что при увеличении размера частиц коры снижается прочность получаемого пластика без связующего при изгибе до 12,7 МПа. При добавлении коры размером 1,4 мм в количестве 10 % наибольший показатель водопоглощения составляет 141 %, при увеличении содержания коры до 30 % и уменьшении размера фракции до 0,7 мм водопоглощение снижается до 41 %. Прессование пластика, имеющего толщину 2 мм, без связующих веществ на основе древесного опила с добавлением коры сосны в количестве от 10 до 30 % осуществляется при температуре пресса 180 °С, давлении 40 МПа, продолжительности прессования 10 мин. При оптимальной рецептуре,

разработанной авторами, удается достичь прочности пластика при изгибе 16,6 МПа; водопоглощение и разбухание по толщине равны 32 и 12,2 % соответственно. Авторы утверждают, что с уменьшением размеров частиц сырья увеличиваются прочностные показатели пластиков, что связано с увеличением удельной поверхности частиц древесины и коры.

Таким образом, получение плитных материалов на основе древесной коры без использования связующих возможно, однако значительное влияние на прочностные и эксплуатационные характеристики плит оказывает способ измельчения коры при подготовке к прессованию и её фракционный состав. Как показано выше, при использовании традиционного способа подготовки сырья к прессованию плит – механического измельчения, получаемые плитные материалы из коры обладают низкими физико-механическими показателями. Поэтому необходим поиск способов и технологий подготовки коры к процессу прессования, которые бы учитывали все особенности коры и обеспечивали требуемые качественные и размерные характеристики корьевых частиц для получения плитных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками.

#### 1.4 Способы подготовки коры для получения плитных материалов

Представленные выше научные работы, посвященные получению плитных материалов из древесной коры, позволяют судить о том, что применение коры в качестве сырья для плит в перспективе может являться востребованным направлением, позволяющим перерабатывать значительное количество коры, однако для получения материалов с высокими прочностными и эксплуатационными показателями необходима предварительная подготовка коры, учитывающая все особенности кородревесных отходов, как самостоятельного сырья. В первую очередь стоит учитывать фракционный состав измельченных частиц. Анализ работ [6, 7, 36] по использованию коры в качестве наполнителя в плитах свидетельствует, что использование коры

возможно только при уменьшении её геометрических размеров, в противном случае существенно снижаются показатели прочности и водостойкости. Одним из способов подготовки древесной массы является химическое воздействие на лигноуглеводную матрицу древесинного вещества [47]. Отмечается, что при химической модификации растительного сырья реагенты, которыми обрабатывают сырьё взаимодействуют с реакционноспособными функциональными группами основных компонентов биомассы с образованием новых ковалентных связей. Наиболее часто проводят реакции, которые протекают по гидроксильным группам структурных компонентов древесного сырья [34-37]. В работе [47] отмечено, что при химических воздействиях происходит частичная деструкция клеточной стенки, что по мнению авторов приводит к увеличению количества реакционноспособных групп, которые образуют физические связи при пьезотермической обработке. В работе [48] отмечается, что в результате обработки древесины химическим веществом – карбамидом (мочевина) значительно изменяется ее состав, а именно увеличивается содержание веществ, растворимых в холодной и горячей воде, а также в спирто-бензольной смеси. Авторами данной работы получен пластик на основе сосновых опилок без связующих веществ. Предварительная химическая обработка опилок карбамидом повышает прочностные свойства пластиков без связующих. Также авторами отмечено, что повышается биостойкость пластиков. О влиянии карбамида на свойства волокнистых полуфабрикатов отмечено в работе [49]. Авторами отмечено, что карбамид способен вызвать изменения в древесине, повышающие её реакционную способность, а также ускорять процесс размола и способен повысить качество плит.

Известен ряд исследований, посвященных обработке древесины формальдегидом [50-52]. В работе [53, 54] отмечается, что обработка формальдегидом целлюлозы приводит к образованию композиций с трехмерной сетчатой структурой. Также отмечено, что при обработке древесного сырья молекулы формальдегида способны встраиваться между волокнами и тем самым разрушать их надмолекулярную структуру, в результате чего повышается

доступность активных центров древесины, а также формальдегид способен вступать в химическое взаимодействие с гидроксильными группами компонентов древесины.

О химических способах подготовки коры для получения плитных материалов известно немного. В работе [55] авторами исследована возможность получения пластиков на основе экстрагированной различными экстрактами коры пихты сибирской. Экстрагирование коры производилось холодной и горячей водой, гексаном и изопропанолом. При сравнении свойств пластиков на основе исходной коры пихты и коры, прошедшей экстрагирование указанными способами, авторами отмечено следующее: свойства пластиков при статическом изгибе на основе исходной коры уступают показателям пластиков из коры, прошедшей любой из видов экстрагирования. Наибольшие прочностные показатели отмечены у пластиков на основе коры экстрагированной горячей водой, наименьшие на основе изопропанола. Наилучшими показателями разбухания обладали образцы из коры, прошедшей экстракцию холодной и горячей водой, 13 и 17 % соответственно.

Работа [56] посвящена исследованию возможности получения лигноуглеводного пластика на основе экстрагированных отходов окорки сосны. После экстрагирования сосновой коры содержание экстрактивных веществ снизилось на 4 %. Экстрагированная кора подвергалась горячему прессованию при 170 °С и давлении от 2,5 до 5 МПа. Полученные плиты обладали прочностью при изгибе от 20 до 26 МПа, что значительно превышает показатели плит на основе коры не подвергнутой экстрагированию, однако показатель разбухания для плит на основе экстрагированной коры практически в 2 раза превышает показатели плит на основе не экстрагированной коры. Существенным недостатком данных материалов является их высокая плотность, которая варьируется от 1220 кг/м<sup>3</sup> до 1338 кг/м<sup>3</sup>.

Перспективным направлением с точки зрения использования химического разнообразия компонентов в коре является использование экстрактов коры в производстве клеев. В работах [28, 57, 58] отмечается, что ОН-группы

фенольных соединений коры способны вступать в реакцию с формальдегидом, полученное связующее можно использовать для производства водостойких древесных плит. В исследованиях [59] говорится о возможности применения таннинов коры в качестве заменителя фенола при производстве клеев для древесных плит. В работе [60] представлены исследования древесно-стружечных плит, полученных на основе карбамидоформальдегидного связующего, которое было модифицировано экстрактами таннинов, полученных из коры ели путем экстракции. Авторами был зафиксирован рост прочности плит при добавлении таннидов коры в плиты, что по мнению авторов подтверждает гипотезу об участии таннидов в процессе структурообразования композита. Отмечено также, что при добавлении таннидов уменьшается продолжительность прессования плит.

Использование химических способов подготовки древесного сырья связано с рядом проблем, к которым можно отнести: сравнительно низкие свойства готовых материалов и их токсичность за счет использования для подготовки материалов химических компонентов; высокую технологическую опасность при производстве материалов, связанную также с использованием вредных для человека веществ.

Еще одним направлением подготовки древесины для получения плитных материалов является биотехнологическая активация сырья. В работах [47, 61] говорится, что под воздействием на древесину дереворазрушающих грибов и ферментов осуществляется направленная деструкция клеточной стенки древесины. Авторы работы [47] считают, что расщеплению ферментами подвержены лигнин и гемицеллюлозы, в то время как целлюлозные фибриллы сохраняют свою структуру. В работе [62] автор утверждает, что при воздействии на растительное сырье лигниноразрушающих грибов повышается реакционная способность лигнина из-за увеличения в нём гидроксильных групп. Данный факт дает право полагать, что биологически активированное древесное сырьё может быть применено для получения плитных материалов без использования связующих веществ. В работе [63] авторами изучена возможность изготовления

пластиков на основе опилок, биоактивированных активным илом. Полученные в работе методом плоского горячего прессования пластики без связующих веществ на основе биоактивированных опилок не уступают по физико-механическим показателям пластикам, изготовленным на основе опилок, не подверженных биологической активации. В работе [64] также были получены плиты без использования связующих веществ на основе сосновых и березовых опилок, предварительно обработанных грибом *P. tigrinus*, в течение разного количества суток. Лучшие показатели готовых материалов наблюдали у плит на основе всех видов опилок, обработанных в течение 3 сут. Авторы отмечают, что более длительная обработка приводит к резкому снижению содержания лигнина и других компонентов, что приводит к нарушению структуры сырья. Наилучшими показателями обладали плиты на основе сосновых опилок, обработанных в течение 3 сут. Так, прочность при изгибе плит на основе обработанных сосновых опилок составляла порядка 26 МПа, в то время как прочность плит на основе необработанных опилок составляла около 20 МПа. Увеличение прочности авторы объясняют высокой лигнолитической способностью применяемого для обработки гриба, обусловленной синтезом внеклеточных ферментов лигнолитического комплекса.

Биологические способы подготовки древесного сырья позволяют получать материалы с высокими эксплуатационными показателями, однако процесс производства таких материалов затрудняется длительной обработкой сырья для достижения плитами высокого качества.

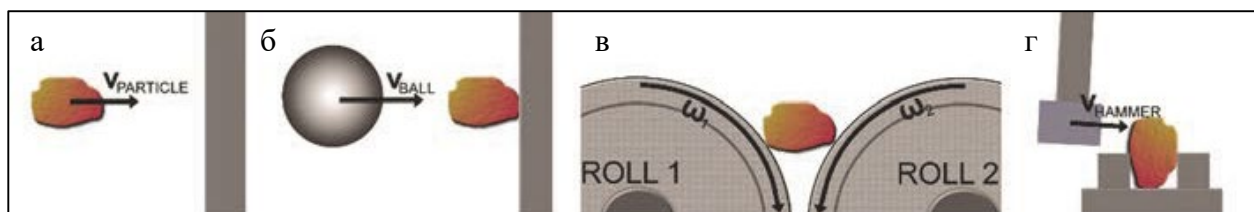
Наиболее распространенными и унифицированными способами подготовки растительного сырья для получения плитных материалов являются механические методы активации. Под воздействием механических воздействий в твердых телах протекают процессы, связанные с изменением межмолекулярных и межатомных расстояний, образованием разрывов сплошности [65]. Автор работы [66] характеризует физико-механическую активацию или механоактивацию – активированием твердых веществ их механической обработкой. В работе [67] говорится, что в результате

механического воздействия на древесину частично разрушается древесинное вещество и образуются новые межфазные поверхности с функциональными группами, ранее участвующими в образовании надмолекулярных структур.

Способ механической подготовки древесного сырья для получения плитных материалов оказывает решающее влияние на процессы формирования структуры и прочностные показатели плит [68].

Среди наиболее распространенного оборудования для механической активации древесины выделяют мельницы различного типа, дезинтеграторы, рубительные машины, роторно-пульсационные аппараты [66, 69, 70].

Для мелкодисперсного измельчения и активации древесной коры наиболее часто применяются мельницы различного типа воздействия. Согласно [71] мельницы для мелкодисперсного измельчения можно разделить на следующие 5 групп: ударные, шаровые, воздушно-струйные, роликовые, мельницы для истирания с помощью сдвига. На рисунке 1.1 представлены примеры воздействия на обрабатываемую частицу в мельницах с различным принципом работы [72]. На рисунке 1.1а показан принцип воздействия на частицу в ударных мельницах (однократный удар). В шаровых мельницах воздействие на частицу производится как показано на рисунке 1.1б, частица подвергается двойному удару, попадая между металлическим шаром и корпусом мельницы. Роликовые мельницы (рисунок 1.1в) измельчают материал посредством сжатия и раздавливания частицы обрабатываемого материала. На рисунке 1.1г представлен принцип воздействия на частицу в мельницах, измельчение в которых осуществляется посредством сдвига.



а – однократный удар; б – двойной удар; в – медленное сжатие; г – сдвигающий удар

Рисунок 1.1 – Виды напряжений в мельницах различного типа [72]

При использовании мельниц возможно тонкое измельчение частиц коры. Согласно [73] при тонком и сверхтонком измельчении увеличивается запас внутренней и поверхностной энергии материала подверженного измельчению, которая, согласно авторам, может быть направлена на увеличение эффективности технологических процессов, например, на синтез новых материалов. Благодаря этому на основе коры возможно получение материалов с новыми свойствами.

Однако только механического воздействия на частицы коры может быть недостаточно, чтобы обеспечить функциональные свойства получаемым материалам необходим комплекс физико-химических воздействий, который позволит придать частицам не только необходимые размерные характеристики, но и активизирует реакционноспособные группы на поверхности частиц с одновременным увеличением удельной поверхности.

Для изменения качественных характеристик частиц необходимо создать определенные условия измельчения, способствующие глубокому разрушению структуры измельчаемого сырья. Одним из таких способов является взрывной автогидролиз (ВАГ), при котором, по мнению авторов [74], проходящие в древесине структурные и химические превращения сопровождаются деструкцией основных компонентов древесины. Впервые взрывной автогидролиз был применен в 1930–х годах в США [75, 76]. Авторы работы [77] характеризуют взрывной гидролиз как кратковременную обработку древесных частиц насыщенным паром при температуре от 180 до 250 °С с резким последующим сбросом давления. Согласно [78] в результате такого воздействия происходит разрушение легкогидролизуемых полисахаридов и деградация лигнина, при этом разрушается клеточная структура древесины, а также увеличивается количество функциональных групп.

В работе [79] рассмотрен метод взрывного автогидролиза (ВАГ) с позиции подготовки коры для получения плитных материалов без связующих веществ. Сосновая кора была модифицирована методом взрывного автогидролиза при следующих условиях: температура 190 °С, время 15 мин. На основе

модифицированной коры методом горячего прессования были получены плиты различной плотности. При плотности равной  $530 \text{ кг/м}^3$  прочность при статическом изгибе составляла  $2,85 \text{ МПа}$ . Авторами был определен компонентный состав коры до и после модификации. Установлено, что кора, модифицированная методом взрывного автогидролиза, содержит в своем составе компоненты, позволяющие получать плитные материалы без использования синтетических связующих. Можно отметить, что полученные авторами материалы обладают низкими прочностными показателями. По мнению авторов работ [80, 81], прочностные свойства плит из растительного сырья, модифицированного методом ВАГ, в значительной степени определяются условиями активации и режимами изготовления плит.

Наиболее распространенным способом механической активации является размол. Процесс размола является определяющей операцией в технологическом процессе производства древесно-волоконистых плит, бумаги и картона [66].

Степень и качество размола влияют на следующие технологические процессы: отлив и обезвоживание ковра, прессование и термовлагообработка плит, и, как следствие, на качественные показатели готовых плит. Неразмолотые древесные волокна обладают малой пластичностью, мало гидратированы и обладают слабо развитой поверхностью, и, как следствие, связь между такими волокнами в плите слабая [82, 83]. Именно сила межволоконных связей в плитах определяет их плотность и прочность. Лучшему сцеплению волокон друг с другом способствует увеличение поверхности соприкасающихся частиц древесины и повышение их пластичности [84]. С увеличением внешней удельной поверхности увеличивается площадь возможного контакта благодаря фибриллам древесины, разработанным на поверхности волокон в результате сил, действующих в процессе размола. В работе Я. Г. Хинчина [85] выдвинуто предположение, что в процессе размола древесины происходит не только увеличение внешней удельной поверхности волокон, но и увеличивается число свободных гидроксильных молекул целлюлозы, которые находятся на поверхности микрофибрилл, в результате увеличивается адсорбционная способность

поверхности волокон, что приводит к гидратации волокна, что и способствует лучшему фибриллированию. Для объяснения процесса фибриллирования автором работы [86] была выдвинута теория, согласно которой отделение фибрилл от поверхности волокна требует определенных затрат энергии, количество которой зависит от величины силы связывающей кристаллиты целлюлозы.

Фибриллирование волокон является важным условием для получения прочного материала под действием сил поверхностного натяжения, механического переплетения фибрилл и волокон между собой [84].

Для получения необходимой степени фибрилляции и подготовки волокнистой массы используются ножевые и безножевые размалывающие машины. Среди ножевых машин выделяют дефибреры, молотковые, конические и дисковые мельницы [87-89]. При размоле в таких машинах волокна подвергаются сильной рубке и раздавливанию, что приводит к снижению прочности готовых плит и сильно затрудняет процесс размола коротковолокнистых листовых пород древесины [90, 91]. При безножевом размоле возможно получение более качественной волокнистой массы за счет отсутствия рубительного воздействия на волокно и, как следствие, укорочения волокна, что негативно сказывается на свойствах плит. Для реализации безножевого размола применяются машины, которые главным образом оказывают гидродинамическое воздействие на обрабатываемый волокнистый материал. Например, машины, работающие по принципу струя-преграда, акустические, кавитационные, роторно-пульсационные, гидроразбиватели [92, 93].

Наибольший интерес представляют роторно-пульсационные аппараты с эффектом кавитации ввиду возможности получения в результате обработки растительного сырья плитных материалов без использования синтетических связующих. В работе [94] отмечено, что в роторно-пульсационных аппаратах фактором, усиливающим происходящие химические и физико-химические процессы, включающие в себя метод диспергирования, является возникающая

при обработке жидких систем кавитация. Под кавитацией понимается образование пузырьков или полостей, заполненных газом или паром, возникающих при создании разрежения в ограниченной области при давлении жидкости [95]. Возникновение пузырьков является следствием высоких местных скоростей в потоке капельной жидкости. Кавитация повышает химико-технологические процессы в жидкостях, например, диспергирование, получение тонкодисперсных систем [96]. В [97] также отмечено, что диспергирование является эффективным способом для образования поверхности контакта фаз, которая в свою очередь существенно влияет на получение устойчивой высокодисперсной эмульсии.

В процессе кавитационной обработки на обрабатываемое растительное сырье, в частности на древесину, воздействует ряд факторов, среди которых механическое истирание обрабатываемого сырья между ротором и статором, деструкция в результате воздействия ударных волн, образуемых при схлопывании образующихся каверн, воздействие ультразвуковых эффектов [98].

Согласно [54] кавитационная обработка древесины разрушает лигноуглеводную матрицу с образованием продуктов способных к формованию и брикетированию.

Авторы работы [47] утверждают, что в результате обработки древесных опилок в гидродинамическом диспергаторе, вследствие возникновения кавитационных явлений происходит фибриллирование древесных частиц. В результате чего, по мнению авторов, образуются новые межфазные поверхности с активными функциональными группами. В работе [99] также отмечено положительное воздействие кавитации на свойства пресс-массы из растительного сырья. Отмечено, что у массы увеличивается текучесть, что дает возможность получать плиты с высокими показателями прочности и водостойкости.

Как было отмечено выше, кавитационная обработка позволяет получать материалы без использования связующих. В работе [100] авторами установлено, что у древесных частиц, подвергнутых гидродинамической обработке с

эффектом кавитации, происходят качественные и количественные изменения содержания активных центров, что в свою очередь позволяет получить высокое аутогезионное взаимодействие между обработанными частицами при горячем прессовании. Авторами получены плитные материалы средней плотности, прочность материала при изгибе и растяжении перпендикулярно к пласти составляют 14,6 и 0,35 МПа соответственно. При данных показателях прочности материалы обладают высокими показателями влагостойкости, так разбухание и водопоглощение составляет 8,4 и 22 % соответственно.

При обработке растительного сырья гидродинамическим способом образуются мелкодисперсные частицы, размеры которых значительно меньше размеров частиц, получаемых механическими способами измельчения. В работе [101] авторами установлено, что после обработки сосновых опилок в гидродинамическом диспергаторе образуются частицы, размер которых менее 10 мкм. По мнению авторов, мелкодисперсные частицы участвуют в аутогезионном взаимодействии при формировании материала без использования связующих.

Исследования, представленные в работе [66], также указывают на то, что в результате гидродинамической обработки образуется фракция с размерами менее 20 мкм. В работе также оценено влияние мелкодисперсной фракции на свойства плит, полученных за счет аутогезионного взаимодействия частиц без использования связующих. Автор утверждает, что при удалении частиц данной фракции прочность при растяжении разрабатываемых плит перпендикулярно к пласти снижается более чем в 4,5 раза.

Основываясь на вышеизложенном, можно сказать, что обработка древесной коры в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации позволит получать мелкодисперсные частицы, обладающие развитой удельной поверхностью и способные образовывать аутогезионные связи, благодаря которым возможно получение плитного материала без использования синтетических связующих.

## 1.5 Предпосылки формирования аутогезионных связей в плитах на основе гидродинамически обработанной коры хвойных

Ранее было упомянуто, что традиционные способы подготовки древесины для получения плитных материалов не подходят для подготовки древесной коры. Это обусловлено более сложным строением коры в сравнение с древесиной. Однако гидродинамическая обработка с эффектом кавитации может способствовать разрушению структуры коры с образованием однородных частиц, обладающих активной поверхностью и способных к образованию аутогезионных связей при формировании плитного материала.

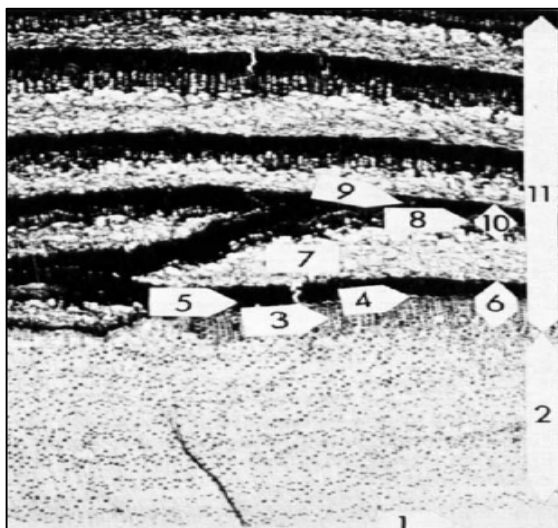
Кора представляет комплекс высокоспециализированных клеток и тканей, располагающихся с внешней стороны от камбия, выполняющих в первую очередь защитную функцию, обеспечивая древесине защиту от гниения, потери влаги и от механических повреждений. Строение коры связано с образованием её тканей из двух вторичных меристем – камбия и пробкового камбия. При делении клеток камбия, наряду с образованием клеток ксилемы (древесины), появляются клетки луба (флоэмы), которые подобно древесным клеткам дифференцируются для выполнения различных функций. В лубе выделяют 3 типа клеток: ситовидные элементы (клетки у хвойных, у лиственных – трубки), выполняющие проводящие функции, клетки длинные с притупленными концами, длина варьируется в пределах от 1,4 до 4,85 мм, ширина тангенциальной плоскости 0,02–0,04 мм, толщина оболочек ситовидных клеток составляет 1,5–2 мкм; паренхимные клетки, которые выполняют запасающую функцию и формируют основную массу тканей флоэмы, расположены в проводящей зоне однорядным тангенциальным слоем; склеренхимные клетки, несущие механическую функцию. К склеренхимным клеткам относят каменистые клетки (лубяные волокна и склереиды) – короткие широкие клетки, образующиеся из паренхимных клеток в результате утолщения клеточных стенок и их значительной лигнификации. Волокна представляют собой

толстостенные клетки длиной 1-3 мм, стенки волокон состоят из целлюлозы и гемицеллюлоз [102, 103].

В процессе роста и старения дерева в флоэме происходят процессы дилатации и облитерация. Процесс дилатации связан с одревеснением клеток паренхимы. В результате этого процесса в периферической части коры образуется мощная паренхимная зона, которая служит своеобразным резервуаром запасных веществ. Облитерацией называют процесс сплющивания ситовидных клеток и закупоривания их пористых пластинок, в результате чего первичная флоэма отмирает. Облитерированная флоэма прерывается появляющимися слоями новой перидермы, формирование которой происходит также благодаря паренхимной зоне. Перидерма содержит вновь образованные камбиальные клетки и подразделяется на три слоя: феллоген или пробковый камбий; феллема – слой, состоящий из пробковых клеток, образованных с внешней стороны феллогеном; феллодерма – слой клеток, включающий в себя и паренхимные клетки, образованных феллогеном с внутренней стороны. В этом процессе клетки феллогена образуются в результате деления живых паренхимных клеток флоэмы. Новый слой феллогена дает новые слои феллодермы и феллемы с последующим отмиранием клеток пробки [102, 104, 105].

Установлено [106], что пробковая ткань с внешней стороны феллогена состоит из клеток, прочно соединяющихся между собой щелочерастворимым веществом (сравним с лигнином в срединной пластинке древесины). Клетки пробки толстостенные, не имеют пор, располагаются радиальными рядами без межклеточных пространств, непроницаемы ни для жидких, ни для газообразных веществ, в результате этого расположенные снаружи от них клетки первичной коры и вторичного луба отмирают. Отмершие участки коры вместе с разделяющими их перидермами составляют корку (ритидом). Образуется сложный комплекс ткани преимущественно из мертвых пробковых клеток в растущем дереве [102, 103, 107].

Пробка хорошо развита у сосновых, число рядов уплощенных клеток варьируется от 8 до 15. Послойное строение сосновой коры представлено на рисунке 1.2. Для пробковой части характерно сплющивание ситовидных клеток и расширение клеток паренхимы, что отчетливо видно на схеме строения сосновой коры, рисунок 1.3.



1 – сосудистая камбиальная зона; 2 – живая флоэма (внутренняя кора); 3 – новообразованная феллодерма; 4 – феллоген (пробковый камбий); 5 – новообразованная феллема (пробковая оболочка); 6 – перидерма; 7 – мертвая флоэма; 8 – более старая феллодерма; 9 – более старая феллема; 10 – более старая перидерма; 11 – ритидом

Рисунок 1.2 – Поперечный разрез коры сосны [108]

Ввиду того, что древесная кора хвойных в основном на 90 % состоит из мертвых клеток пробковой паренхимы, которая образована делением живых паренхимных клеток в результате старения дерева, а также из облитерированных ситовидных клеток, это дает право полагать, что при гидродинамическом измельчении образуются частицы, которые представляют собой фрагменты стенок пробковых клеток ранее паренхимных и ситовидных, а также из клеток формирующих лубяную часть коры.

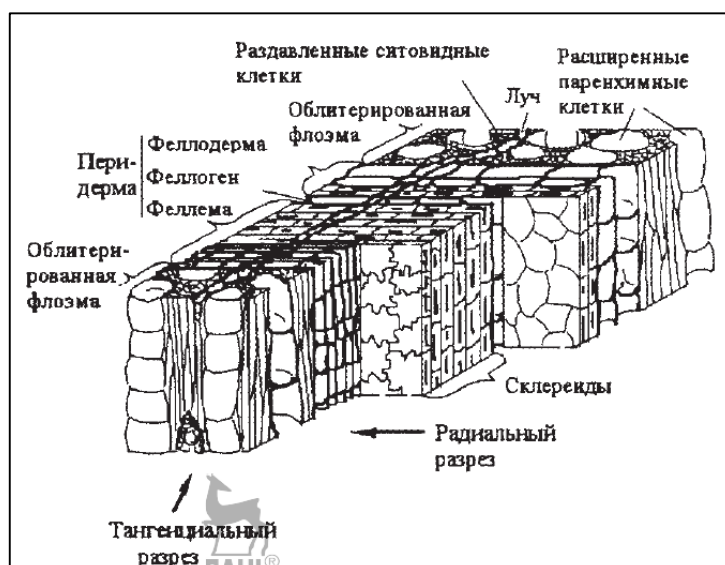


Рисунок 1.3 – Схема строения коры сосны (*Pinus sylvestris*) [103]

В свою очередь стенки пробковых клеток состоят из трех слоёв: внешний – лигнифицированный; внутренний – состоящий практически из чистой целлюлозы; срединный – содержит характерное для пробковой ткани вещество – суберин, при этом слои суберина чередуются со слоями пробкового воска, что обеспечивает гидрофобность пробки. Клетки феллодермы сходны с клетками вертикальной паренхимы, стенки их не субернизированы [109, 110]. Содержание целлюлозы в коре согласно различным источникам [23, 106] составляет от 13 до 30 % в зависимости от части коры. В лубе содержание целлюлозы достигает 30 %, в корке – до 15 %, что несомненно ниже чем в древесине (порядка 50 %).

При воздействии на частицы коры механических, гидродинамических, истирающих и размалывающих сил в процессе обработки в гидродинамическом диспергаторе происходит значительное увеличение удельной поверхности частиц коры за счет значительного уменьшения их геометрических размеров. Основываясь на работах [84, 85] можно предположить, что увеличение удельной поверхности может быть также вызвано образованием фибриллированной поверхности частиц, что является возможным благодаря наличию в коре целлюлозной составляющей. О фибриллировании древесной коры отмечено в работе, посвященной получению клея на основе компонентов коры для склеивания фанеры [111]. Отмечается, что в результате измельчения коры *Pinus*

*radiate* в дисковой мельнице, на поверхности частиц коры образуются целлюлозные волокна, образовавшиеся из разрушенных клеточных стенок. Микроснимок полученный авторами представлен на рисунке 1.4. Авторы предполагают, что целлюлозные волокна повышают качество склеивания материалов разработанным клеем.

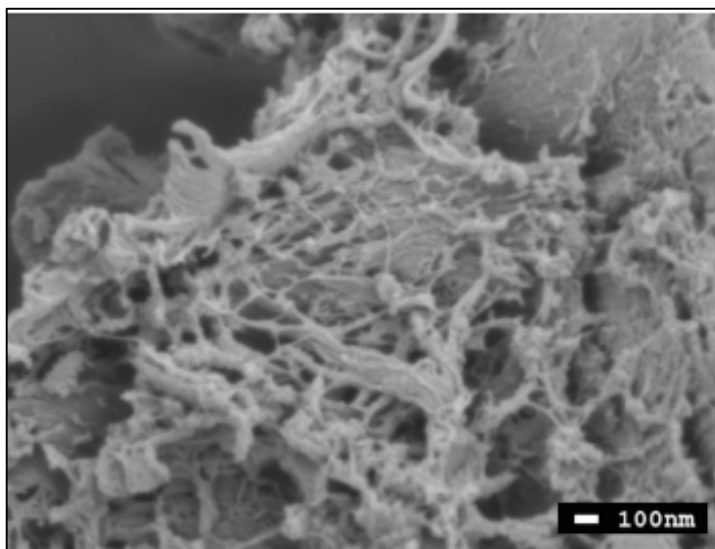


Рисунок 1.4 – Фибриллированная кора *Pinus radiate* [111]

В работе [112] на основе коры *Lodgepole pine* были получены целлюлозные нановолокна, размер которых менее 1 мкм. На основе волокон получены пленки с высокими показателями прочности и водостойкости.

Фибриллирование древесных частиц необходимо для увеличения удельной поверхности и повышения способности частицы к образованию связи с другими частицами плиты. Согласно физической теории размолу при мокром размолу древесины происходит не просто увеличение внешней поверхности, но и одновременное высвобождение заблокированных гидроксильных групп, которые адсорбируют дополнительное количество воды, что повышает способность волокон к размолу [113]. При обработке частиц в водной среде происходит процесс разрушения связей между микрофибриллами целлюлозы и проникновения воды в межфибрилярные пространства [114].

Таким образом, для формирования аутогезионных связей между частицами коры наиболее предпочтителен способ обработки коры в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации, сочетающий в себе несколько видов воздействий на обрабатываемый материал – механическое, гидродинамическое, размалывающее, кавитационное. Данный способ позволит существенно увеличить удельную поверхность частиц коры, в результате значительного уменьшения геометрических размеров частиц и образованию фибриллированной структуры на поверхности частиц коры.

### **Выводы к первой главе**

На основании данных, приведенных в аналитическом обзоре, свидетельствующих о ежегодном увеличении объемов перерабатываемой древесины, и, как следствие, приводящих к постоянно возрастающему накоплению объёмов древесной коры, были сделаны следующие выводы:

1 В настоящее время отсутствуют унифицированные, крупнотоннажные технологии переработки древесной коры. Изученные способы переработки коры в плитные материалы не позволяют получать плиты без связующих с высокими физико-механическими показателями. В большинстве случаев это обусловлено использованием традиционных способов измельчения коры перед прессованием, что не обеспечивает необходимые размерные и качественные характеристики частиц коры для формирования плит.

2 Установлено, что при использовании крупноразмерных (более 1 мм) частиц древесной коры в качестве самостоятельного сырья для традиционных плитных материалов (древесно-стружечные, древесно-волокнистые) значительно снижаются показатели прочности и влагостойкости, что обусловлено низкой механической прочностью и высокой пористостью коры.

3 При изучении научных трудов других ученых определено, что использование традиционных механических способов измельчения коры не обеспечивает высокие физико-механические характеристики получаемых плитных материалов. Обеспечение таких характеристик возможно благодаря одновременному воздействию на обрабатываемые частицы коры

гидродинамических, механических, размалывающих и кавитационных сил. Совокупность воздействия данных явлений будет обеспечивать предлагаемый в работе способ обработки в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации.

4 Установлено, что для получения однородной структуры и обеспечения высоких прочностных показателей плит без связующих веществ из коры хвойных необходимо получение частиц с размерами менее 1 мм с развитой удельной поверхностью. Обеспечить требуемый размер частиц и увеличить их удельную поверхность для образования аутогезионных связей в процессе дальнейшего прессования позволяет обработка коры в гидродинамических диспергаторах с эффектом кавитации. Применение данного способа подготовки коры позволит отказаться от использования связующих веществ.

В результате аналитического исследования были поставлены следующие задачи:

- установить возможность получения плитных материалов без связующих веществ из гидродинамически обработанной коры сосны обыкновенной;
- исследовать процесс механизма образования структуры плитного материала за счет аутогезионного взаимодействия гидродинамически обработанных частиц коры сосны обыкновенной;
- исследовать влияние продолжительности гидродинамической обработки и концентрации массы коры сосны в процессе обработки на свойства плитных материалов;
- определить влияние режимных параметров процесса горячего прессования гидродинамически обработанной коры сосны на физико-механические свойства плитных материалов;
- разработать технологическую схему производства плит без связующих веществ из гидродинамически обработанной коры хвойных пород древесины.

## ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В данном разделе представлены общие характеристики используемого сырья, материалов и основного оборудования, даны методические рекомендации по проведению экспериментальных исследований и статистической обработке полученных результатов.

Анализ изученной научной литературы показал, что для повышения основных физико-механических свойств плит без связующих веществ на основе коры хвойных необходима предварительная гидродинамическая обработка частиц коры в диспергаторе.

### 2.1 Сырье и материалы

В первой главе данной работы было установлено, что древесная кора является крупнотоннажным отходом лесопромышленного комплекса, который до настоящего времени не нашел промышленного применения ввиду специфических свойств коры как сырья. Известно, что отходы коры образуются на предприятиях, где операция окорки древесных сортиментов является обязательной: производство древесно-волоконистых, древесно-стружечных, цементно-стружечных плит и фанерной продукции. Для проведения экспериментальных исследований была принята кора сосны обыкновенной, так как данная порода древесины является одной из основных лесобразующих пород Красноярского края и объемы её заготовки и обработки ежегодно увеличиваются.

Сосновая кора была получена на ООО "КРАСФАН", расположенном в г. Сосновоборск, Красноярский край. Предприятие занимается выпуском фанеры на основе хвойных и лиственных пород древесины. Длина частиц коры составляла от 10 до 70 мм. Основные свойства исходной коры приведены в таблице 2.1. Количество древесных отщепов не превышало 5 %.

Для определения влажности исходной коры использовался «сушильно-весовой» метод. Влажность выражается в процентах и вычисляется по формуле

$$W = \frac{m_w - m_c}{m_c} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где  $m_w$  – масса образца до высушивания, кг;

$m_c$  – масса образца после высушивания, кг.

Таблица 2.1 – Свойства исходной коры

Показатель	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Плотность коры, в абсолютно сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Водопоглощение за 24 ч, %
Значение	270	520	50-85	41

Для определения фракционного состава коры использовался набор сит. Необходимая навеска коры высыпалась на верхнее сито, после чего производился рассев в течение 5 мин. Остаток на каждом из сит взвешивался с точностью до 1 г. Массовая доля каждой фракции  $X_i$ , %, вычислялась по формуле

$$X_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где  $m_i$  – масса остатка на одном из сит, г;

$m$  – масса навески коры, г.

Фракционный состав коры представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Фракционный состав отходов окорки

Сито с диаметром отверстий, мм	Количество коры, %
70	5,0
60	7,5
50	17,4
40	31,8
30	17,4
20	11,2
10	5,0
5	3,4
дно	1,3

## 2.2 Оборудование для проведения эксперимента

Оборудование, измерительные приборы, применяемые в работе для реализации экспериментальных исследований, представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Применяемое оборудование

Наименование оборудования	Марка	Назначение
Весы лабораторные	ВК-300, ВК-3000	Взвешивание пресс-массы перед подпрессовкой; измерение массы образцов
Набор сит	-	Фракционирование исходной коры
Сушильный шкаф	Binder E 28	Сушка пресс-массы для определения влажности, водоудерживающей способности.
Молотковая мельница	-	Предварительное измельчение коры до фракции 5мм/дно
Гидродинамический диспергатор	РГГД-1	Гидродинамическая обработка коры
Гидравлический пресс	LabPro 1000	Подпрессовка (отжим) и горячее прессование плитных материалов
Ленточнопильный станок	JET JWBS-12SL	Распиловка образцов для проведения испытаний
Штангенциркуль цифровой	Kraftool 200	Измерение образцов
Испытательная машина	FM 500	Определение физико-механических показателей плит: предел прочности при изгибе; растяжение перпендикулярно пласти
Световой микроскоп	МИКМЕД-6	Изучение гидродинамически обработанных частиц коры
Центрифуга	T-23 (Janetzki, Германия)	Определение показателя водоудерживающей способности (WRV)

## 2.3 Методика проведения предварительного измельчения коры

В первом подразделе данной главы по результатам определения фракционного состава, таблица 2.2, было установлено, что размеры частиц коры, полученные в результате окорки хвойных пород древесины, в основной массе имеют длину более 40 мм. Таким образом, возникает необходимость в измельчения коры ввиду конструктивных особенностей лабораторного гидродинамического диспергатора.

Измельчение возможно в мельницах различного типа, предназначенных для измельчения древесины. В лабораторных условиях подготовка к гидродинамической обработке производилась в мельнице молоткового типа, представленной на рисунке 2.1. Технические характеристики мельницы приведены в таблице 2.4. Измельчение производилось до размера фракции 5 мм/дно. Влажность коры в момент измельчения составляла от 50 до 85 %.



Рисунок 2.1 – Мельница молоткового типа

Таблица 2.4 – Технические характеристики молотковой мельницы

Характеристика	Показатель
Частота вращения рабочего органа, об/мин	1000
Масса, кг	35
Тип режущего органа	молотки

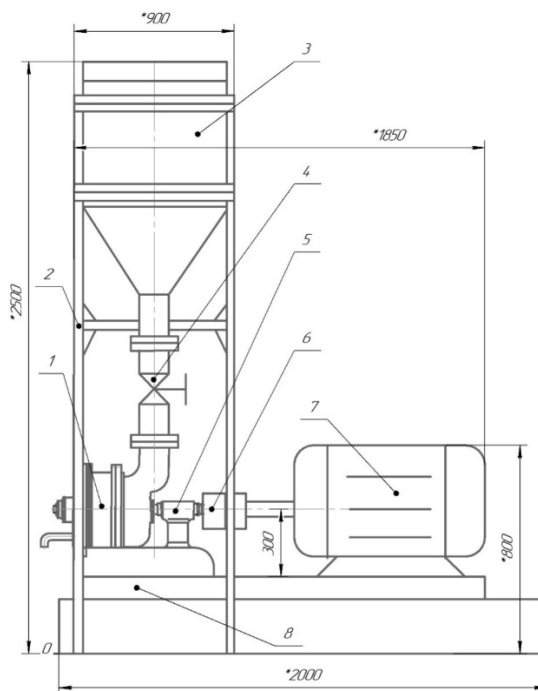
## 2.4 Проведение гидродинамической обработки

Согласно изученным данным в первой главе настоящей работы гидродинамическая обработка корьевых частиц в диспергаторе, работа которого основана на принципе работы роторно-пульсационных аппаратов, позволяет получать гомогенную массу с высокой удельной поверхностью частиц и увеличенным числом контактов между частицами. Для обработки коры был принят аппарат РГГД-1 [66, 115]. Схема установки с указанием основных элементов и габаритных размеров представлена на рисунке 2.2. Технические характеристики экспериментальной установки представлены в таблице 2.5.

Данная установка обеспечивает мелкодисперсное диспергирование частиц коры в водной среде. Основным элементом экспериментальной установки является рабочая камера, в которой главными элементами являются ротор и статор.

Установка обеспечивает диспергирование обрабатываемого материала в водной среде. Основными элементами установки являются ротор и статор, представленные на рисунке 2.3. Частота вращения ротора составляет 2950 об/мин.

В данной установке измельчение осуществляется в результате воздействия на обрабатываемую частицу двойного гидравлического удара в резонансных камерах статора при прерывании потока проходящей массы с заданной частотой. Хорошей степени гомогенизации способствует развитая турбулентность, сопутствующая гидродинамическим процессам.



1 – гидродинамический диспергатор; 2 – станина для бака сырья; 3 – бак сырья;  
4 – задвижка; 5 – блок опорных подшипников; 6 – муфта; 7 – электродвигатель; 8 – станина  
экспериментальной установки

Рисунок 2.2 – Принципиальная схема экспериментальной установки РГД-1



а – ротор

б – статор

Рисунок 2.3 – Ротор и статор экспериментальной установки РГГД-1

Таблица 2.5 – Технические характеристики экспериментальной установки РГГД-1

Параметр	Показатель
Частота вращения ротора, об/мин	2950
Диаметр ротора, мм	278
Габаритные размеры установки, мм	
длина	1850
ширина	750
высота с баком сырья	2500
Масса, кг	1100

Процесс обработки коры в экспериментальной установке осуществлялся следующим образом.

Сосновая кора с влажностью 50-85 % подвергалась предварительному механическому измельчению в молотковой мельнице (рисунок 2.1) до фракции не более 5 мм. После чего измельченная кора просеивалась через сито (размер ячейки 5 мм) для исключения крупноразмерных частиц, оставшихся после механического измельчения. Затем просеянная кора смешивалась с водой в баке гидродинамического диспергатора. Концентрация частиц коры в воде определялась согласно разработанного плана проведения эксперимента.

Расчет концентрации,  $K$ , %, производился по формуле

$$K = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (2.3)$$

где  $m_1$  – масса коры в сухом состоянии, г;

$m$  – общая масса суспензии, г.

После смешивания корьевых частиц с водой в баке установка включалась и происходило многократное прохождение обрабатываемой коры через рабочую камеру установки. При запуске установки одновременно начинался замер продолжительности обработки на секундомере. Продолжительность обработки определялась согласно плану эксперимента. В процессе гидродинамической обработки с помощью отбора проб с определенной периодичностью определялась температура массы. Для оценки результатов влияния гидродинамической обработки на свойства массы был принят показатель водоудерживающей способности, WRV, %, который определялся по методу Жауме [116]. После окончания обработки корьевая масса сливалась в емкость.

## 2.5 Определение степени помола гидродинамически обработанной коры

Степень помола гидродинамически обработанной коры определялась на аппарате СР-2 и выражалась в градусах Шоппер-Риглера ( $^{\circ}$ ШР). Для определения степени помола отбиралась гидродинамически обработанная кора в размере 2 г по абсолютно сухому веществу. Отобранную пробу помещали в мерный цилиндр и разбавляли водой до 1 л. Температура воды составляла  $20^{\circ}$ С. Проба коры с водой в цилиндре тщательно перемешивались. После этого масса из цилиндра выливалась на сетку в цилиндр аппарата. Сетка при этом была закрыта клапаном. После чего клапан поднимался, и масса обезвоживалась на сетке. Объем воды в боковом цилиндре замерялся с точностью до 10 мл и определялась степень помола СП,  $^{\circ}$ ШР, массы по формуле

$$\text{СП} = \frac{1000 - V}{10}, \quad (2.4)$$

где  $V$  – количество воды, которое вытекло через боковое отверстие, мл.

## 2.6 Определение фракционного состава гидродинамически обработанной коры

Определения фракционного состава частиц коры после обработки в гидродинамическом диспергаторе осуществлялось на просеивающей машине Retsch AS 200 Control. Для определения фракционного состава отбиралась навеска пресс-массы коры равная 500 г. Для фракционирования использовали набор сит с диаметрами 500, 300, 200, 100, 80, 63, 40, и 20 мкм. Пресс-масса помещалась на сито с размером ячейки 500 мкм, сита фиксировались крышкой с зажимным механизмом, затем просеивающая машина запускалась при постоянной подаче воды через форсунку, установленную в крышке, сита подвергались воздействию вертикальных колебаний и вращению в горизонтальной плоскости. Фракционирование производилось в течение 10 мин. По окончании работы просеивающей машины с каждого из сит отбиралась гидродинамически обработанная масса. Массовая доля каждой фракции определялась по формуле (2.2).

## 2.7 Отделение мелкодисперсной фракции частиц коры от пресс-массы

Для установления влияния мелкодисперсной фракции (менее 20 мкм) пресс-массы гидродинамически обработанной коры на процессы структурообразования и физико-механические свойства плит свойства плит, полученная пресс-масса разделялась на 4 части. Первая, вторая и третья части пресс-массы подвергались многократному промыванию водой на сите с размером ячейки 14 мкм для уменьшения количества мелкой фракции. Четвертая часть массы не подвергалась промыванию и была принята за контрольный вариант с целью сравнения свойств полученных плит на основе корьевой массы промытой и не промытой водой. Промывание осуществлялось следующим образом: отобранная часть массы, необходимая для получения плиты, помещалась на фильтровальную сетку с размером ячеек 0,014 мм, где при постоянном поступлении воды определенного объема производилось

перемешивание массы. Соотношение корьевой массы и добавляемой воды при промывании по первому варианту изготовления составило 1:15, по второму – 1:30, по третьему – 1:45. Промытая пресс-масса помещалась в пресс-форму, где осуществлялось формирование плитного пакета. Сформированный пакет размещался на стальной поддон. Далее осуществлялось горячее прессование. Режим прессования плит: температура – 190 °С; удельная продолжительность – 2,8 мин/мм; давление прессования – 4,4 МПа.

## 2.8 Определение водоудерживающей способности (метод Jaume)

Метод основан на определении массы прочносвязанной воды сушкой после удаления свободной воды центрифугированием влажной отливки.

Определение водоудерживающей способности гидродинамически обработанной корьевой массы заключается в определении оставшейся в ней влаги после центрифугирования при определенных условиях [116].

Навеска массы весом 0,1 – 0,2 г подвергается набуханию в воде, а затем центрифугируется при 3000 об/мин в течение 10 мин. Центрифугирование осуществлялось на лабораторной центрифуге Т-23 (Janetzki, Германия).

После центрифугирования образцы гидродинамически обработанной коры высушиваются до постоянной массы, для определения массы прочносвязанной воды.

Содержание влаги после центрифугирования определяется по разности массы пробы до сушки и после,  $W$ , % по формуле

$$W = \frac{B_B - B_C}{B_B} \cdot 100 \%, \quad (2.5)$$

где  $B_B$  – масса влажной гидродинамически обработанной корьевой массы после центрифугирования, г;

$B_C$  – масса сухой гидродинамически обработанной корьевой массы, г.

## 2.9 Проведение горячего прессования

Полученная в результате гидродинамической обработки корьевая суспензия обезвоживалась последовательно в два этапа. Из емкости суспензия выливалась на отливное сито (рисунок 2.4а) с размером ячеек 0,026 мм. Удаление воды осуществлялось под действием силы тяжести в накопительную емкость для повторного использования. На рисунке 2.4б представлена корьевая суспензия в отливном сите.



а – отливное сито



б – отлив корьевой суспензии

Рисунок 2.4 – Сито для обезвоживания и отлив корьевой суспензии после гидродинамической обработки

После первого этапа обезвоживания в ходе отделения гидродинамически обработанной коры от воды образуется однородная гомогенная корьевая масса.

Для изготовления из полученной корьевой пресс-массы плитного материала определялось потребное количество массы,  $G_w$ , кг, по формуле

$$G_w = 100 \cdot L \cdot B \cdot S \cdot \rho \cdot \frac{K_n \cdot (100 + W_B)}{(100 + W_{пл})}, \quad (2.6)$$

где  $L$  – длина плиты, м;

$S$  – толщина плиты, м;

$B$  – ширина плиты, м;

$\rho$  – расчетная плотность плиты, кг/м<sup>3</sup>,

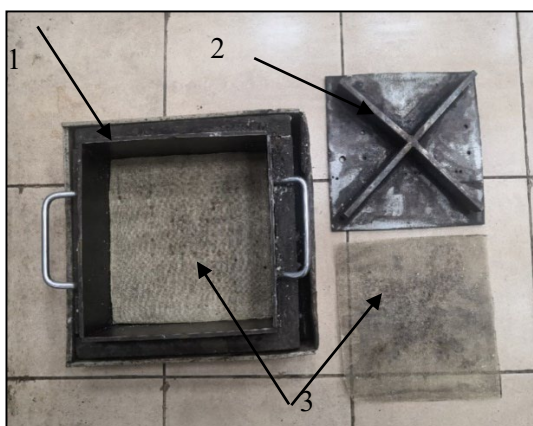
$K_{\text{п}}$  – коэффициент, учитывающий потери частиц при производстве.

Принимаем  $K_{\text{п}}=1,1$ ;

$W_{\text{в}}$  – влажность корьевой массы, %;

$W_{\text{пл}}$  – влажность готовой плиты, %.

Определенная по формуле 2.6, масса навески корьевой пресс-массы, необходимая для получения одной плиты помещалась в металлическую пресс-форму, представленную на рисунке 2.5. Пресс-форма представляет собой металлическую конструкцию, состоящую из короба для массы с внутренними размерами 250×250 мм, дном которого является металлическая пластина с отверстиями диаметром 4 мм, на которую сверху укладывается металлическая фильтровальная сетка с размером ячеек 0,026 мм, и пуансона. В пресс-форме осуществляется второй этап обезвоживания корьевой пресс-массы путем отжима массы в лабораторном прессе марки LabPro 1000, «Fontune Presses» (Нидерланды), представленного на рисунке 2.6. Технические характеристики пресса представлены в таблице 2.6. После окончания операции отжима сформированный пакет на сетке извлекался из металлической пресс-формы, укладывался на стальные поддоны для дальнейшего горячего прессования в лабораторном прессе (рисунок 2.6). Режимные параметры горячего прессования были выбраны согласно разработанному плану проведения эксперимента. Прессование осуществлялось с дистанционными планками для регулирования толщины плит.



1 – пресс-форма; 2 – пуансон; 3 – сетки

Рисунок 2.5 – Пресс-форма для обезвоживания корьевой пресс-массы



Рисунок 2.6 – Лабораторный пресс марки LabPro 1000

Таблица 2.6 – Технические характеристики лабораторного пресса LabPro 1000

Параметр	Показатель
Максимальная температура нагрева плит пресса, °С	300
Давление, кН	1000
Формат плит, мм	500×500

Технологическая выдержка готовых образцов плит толщиной 4 мм осуществлялась при комнатных условиях в течение 48 ч, после чего из плит изготавливались образцы для проведения физико-механических испытаний.

#### 2.10 Определение физико-механических свойств плит

Оценка физико-механических свойств плит производилась по стандартизованным методикам [117, 118].

Механические испытания образцов плит без связующих производились на контрольно-испытательной разрывной машине марки УТС–110МН–30 с максимальной силовой нагрузкой 5 кН с регулируемой скоростью разрыва 1 мм/мин – 90 мм/мин, представленной на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Контрольно-испытательная машина УТС–110МН–30

### 2.10.1 Определение влажности плит

Для определения влажности использовался «сушильно-весовой» метод.

Для испытаний изготавливались образцы с размером 100×100 мм.

Фактические размеры образцов измерялись штангенциркулем. Образцы плит взвешивались с точностью до 0,01 г и помещались в сушильный шкаф, где высушивались до постоянной массы при температуре  $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

Влажность плит,  $W$ , %, вычислялась по формуле

$$W = \frac{m_w - m_c}{m_c} \cdot 100, \quad (2.7)$$

где  $m_w$  – масса образца до высушивания, кг;

$m_c$  – масса образца после высушивания, кг.

### 2.10.2 Определение плотности материала

Определение плотности производилось на образцах с размерами 100×100 мм. Толщина образца,  $S$ , мм, определялась в четырех точках в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для расчетов использовалось среднее значение замеров с точностью до 0,01 мм. Длина и ширина образцов замерялась в двух местах параллельно кромкам с точностью до 0,01 мм. В расчетах

использовалось среднее значение двух измерений. Масса образцов определялась на технических весах с точностью до 0,01 г.

### 2.10.3 Определение предела прочности при изгибе

Для проведения испытаний изготавливались образцы с размерами 150×50 мм. Ширина измерялась штангенциркулем по поперечной оси образца, а толщина в центре пласти образца. Предел допускаемой погрешности измерения  $\pm 0,1$  мм. Образцы укладывались на две цилиндрические опоры диаметром  $(10\pm 0,1)$  мм. Расстояние между опорами составляло  $(150\pm 1)$  мм.

Нагрузка на образец передается через валик диаметром  $(10\pm 0,1)$  мм, приложенный по всей ширине образца на равном расстоянии от опор и перемещающийся со скоростью 10 мм/мин. Разрушающей считают наибольшую нагрузку, отмеченную при испытании образцов в момент их разрушения.

Предел прочности при изгибе,  $\sigma_{изг}$ , МПа, вычисляли по формуле

$$\sigma_{изг} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot s^2}, \quad (2.8)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$l$  – расстояние между осями опор, мм;

$b, s$  – соответственно ширина и толщина образца, мм.

### 2.10.4 Определение предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

Для испытаний использовались образцы с размером 50×50×4 мм. Длина и ширина образцов измерялась штангенциркулем, наклеивались колодки, закреплялись в устройстве испытательной машины и производилось нагружение со скоростью 10 мм/мин. Снимали величину разрушающей нагрузки. Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти,  $\sigma_{раст\perp}$ , МПа, вычисляли по формуле

$$\sigma_{раст\perp} = \frac{P}{L \cdot B}, \quad (2.9)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$L, B$  – соответственно длина и ширина образца, мм.

### 2.10.5 Определение разбухания плит по толщине за 24 часа

Для проведения испытаний из плит изготавливаются образцы с размером  $100 \times 100 \times 4$  мм. Образцы помещаются в воду на ребро. Температура воды  $(20 \pm 1)$  °С. После выдержки образцы достаются и просушиваются фильтровальной бумагой. После этого размеры образцов измеряются заново. Показатели разбухания определяли по формуле

$$V = \frac{h_2 - h_1}{h_1}, \quad (2.10)$$

где  $h_1$  – толщина образца до погружения в воду, мм;

$h_2$  – толщина образца после извлечения из воды, мм.

### 2.11 Планирование экспериментальных исследований

Основной целью экспериментальных исследований является установление возможных зависимостей, выражающих влияние входных параметров на исследуемые выходные параметры объекта, а также подтверждение выдвинутых теоретических предположений.

Исходной точкой для таких исследований является аналог физической формулы – математическая модель системы, носящей название модели эксперимента или уравнения регрессии. В общем случае математическая модель создается на основе статистического метода – регрессионного анализа.

Уравнение регрессии представляет математическую форму зависимости измеряемой физической величины от влияющих на нее факторов. Выбор того или иного уравнения определяет точность (адекватность), с которой модель описывает в требуемых пределах реальную действительность. Такой выбор вида уравнения определяется исследователем на основании априорных сведений о процессе, изучения влияющих факторов, от которых зависит измеряемая величина, а также удобства использования математической модели данного конкретного вида.

Регрессионный анализ сводится к определению на основании экспериментальных данных коэффициентов модели, коэффициентов регрессии, оценки значимости значений этих коэффициентов и степени адекватности модели.

Для определения точности измерения выходного параметра и необходимого количества дублированных измерений проводился предварительный эксперимент. В результате получено, что необходимая точность обеспечивается при 5-и кратном дублировании измерений.

Исследование процессов и получение математических моделей, адекватно описывающих проводимые эксперименты, проводилось с использованием планов второго порядка.

Планы многофакторных экспериментов, по которым можно получить математическое описание (модель) объекта в виде полинома второго порядка, позволяют аппроксимировать поверхность отклика полиномами вида

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{\substack{i=1, \\ u \neq i}} b_{iu} x_i x_u, \quad (2.11)$$

где  $k$  – число основных факторов;

$b_0$  – свободный член;

$b_i$  – линейные коэффициенты регрессии;

$b_{ii}$  – квадратичные коэффициенты регрессии;

$b_{iu}$  – коэффициенты регрессии при парных взаимодействиях.

Опыты по матрице планирования были рандомизированы по таблице равномерно распределенных случайных чисел.

При обработке результатов планирования эксперимента придерживались следующего порядка.

Рассчитывали построчные средние значения выходного параметра по формуле

$$\bar{Y}_u = \frac{\sum_{j=1}^n Y_{uj}}{n}, \quad (2.12)$$

где  $u$  – строчка плана или номер опыта матрицы планирования;

$Y_{ui}$  – дублированные значения выходной величины в точке с номером  $i$ ;

$n$  – число параллельных наблюдений в каждой точке плана.

Затем рассчитывали построчные дисперсии по формуле

$$S_u^2 = \frac{(\bar{Y}_u - Y_{u1})^2 + (\bar{Y}_u - Y_{u2})^2 + \dots + (\bar{Y}_u - Y_{um})^2}{m-1} = \frac{\sum_{j=1}^m (\bar{Y}_u - Y_{uj})^2}{m-1}, \quad (2.13)$$

где  $Y_{uj}$  –  $j$ -е значение выходной величины в точке  $u$  плана.

Исключение грубых промахов в параллельных наблюдениях для каждой точки плана осуществляли с использованием критерия Стьюдента ( $t_{расч}$ ). Для этого в каждой строчке плана находили сомнительный элемент  $Y'$ - значение опыта в большей степени, отличающиеся от среднего в большую или меньшую сторону. Затем вычисляли статистику по формуле

$$t_{расч} = \frac{|Y' - \bar{Y}'|}{S'}, \quad (2.14)$$

и сопоставляли с критическими значениями  $t_{табл}$ , взятыми из таблицы, для уровня значимости  $g$  и объема выборки  $n$ .

Если выполнялось неравенство  $t_{расч} \leq t_{табл}$ , то сомнительный элемент является грубым промахом и его исключали. Найденные ранее построчные средние значения выходного параметра  $Y_u$  и построчные дисперсии  $S_u^2$  пересчитывались, а проверку на наличие грубых промахов повторяли для следующего сомнительного элемента до тех пор, пока проверка не показывала, что сомнительный элемент не является грубым промахом.

Для обеспечения равномерности дублирования опытов в различных точках матрицы плана после исключения грубого промаха в одной или нескольких точках матрицы исключали и сомнительные элементы в других точках даже если они и не являлись грубыми промахами.

Проверку гипотезы однородности дисперсий в опытах матрицы проводили при помощи  $G$  – критерия Кохрена.

Для этого находили статистику по формуле

$$G_{\max} = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^m S_i^2}, \quad (2.15)$$

где  $S_{\max}^2$  – максимальная построчная дисперсия.

Далее сопоставляется с критическим значением  $G_g$  для выбранного уровня значимости  $g$ , числа выборок  $k = n-1$ . Если выполнялось неравенство  $G_{\max} \leq G_g$ , то гипотезу о равенстве дисперсий не отвергали.

Рассчитывали дисперсию воспроизводимости среднего значения по формуле

$$S_{\{\bar{Y}\}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_u^2}{N}, \quad (2.16)$$

Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии производилась при помощи  $t$  – критерия Стьюдента. Значение  $t$  – критерия для каждого коэффициента вычисляли по формуле

$$t_i^r = \frac{|b_i|}{\sqrt{S_{\{b_i\}}^2}}, \quad (2.17)$$

Расчетное значение критерия сравнивали с табличным, найденным для заданного уровня значимости  $g$  и числа степеней свободы  $\nu = N(n-1)$ .

Если  $t_i^R > t^T$ , то коэффициент считался статистически значимым.

Проверку адекватности полученного уравнения регрессии производили по  $F$ -критерию Фишера. Для этого по уравнению регрессии определяли значения  $Y_u$  для каждой точки матрицы плана. Затем находили дисперсию адекватности модели по формуле

$$S_{ad}^2 = \frac{n}{N-l} \sum_{u=1}^N (\bar{Y}_u - Y_u)^2, \quad (2.18)$$

где  $l$  – число значимых коэффициентов уравнения регрессии.

Затем находили статистику по формуле

$$F^R = \frac{S_{ad}^2}{S_{\{\bar{Y}\}}^2}, \quad (2.19)$$

Если  $F^R < F^T$ , где  $F$  – табличное значение критерия Фишера, найденное для уровня значимости  $g$  и числа степеней свободы  $\nu_1 = N-l$  и  $\nu_2 = N(n-l)$ ; то гипотеза адекватности регрессионной модели принимается.

Расчет коэффициентов регрессионных моделей, статистический анализ уравнений регрессии и построение графиков осуществляли с использованием статистического пакета *STATGRAPHICS Centurion 18*.

Отличие планов второго порядка от линейных планов заключается в том, что основные факторы варьируются как минимум на трех уровнях. Каждый из основных факторов в экспериментальном исследовании принимает три значения:  $X_{i \min}$ ,  $X_{i \max}$ ,  $X_i^{(0)}$ . Величина  $X_{i \min}$  – это нижний уровень варьирования,  $X_i^{(0)}$  – основной уровень варьирования,  $X_{i \max}$  – верхний уровень варьирования фактора. В общем виде при реализации В-плана каждый из факторов имеет свой диапазон варьирования:  $X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max}$ .

Основной уровень или середину диапазона варьирования  $X_i^{(0)}$  находят по формуле

$$X_i^{(0)} = \frac{X_{i \min} + X_{i \max}}{2}, \quad (2.20)$$

Интервал варьирования  $\Delta_i$  определяют как разность по формуле

$$\Delta_i = X_{i\max} - X_i^{(0)} = X_i^{(0)} - X_{i\min} \quad (2.21)$$

Оценку влияния исследуемых факторов проводили по стандартизированной диаграмме Парето, графической интерпретации уравнения регрессии и графикам эффектов факторов и их взаимодействий.

#### 2.11.1 Планирование однофакторных и двухфакторных экспериментов при определении влияния параметров гидродинамической обработки на физико-механические свойства плит без связующих

В качестве параметров гидродинамической обработки при определении их влияния на физико-механические свойства плит выбраны: концентрация пресс-массы,  $K$ , %, и продолжительность обработки,  $\tau_{обр}$ , мин. Частота вращения ротора гидродинамического диспергатора в проводимых экспериментах составляла 2950 об/мин.

Однофакторный эксперимент определения влияния концентрации пресс-массы на физико-механические свойства плит проводился при установленной продолжительности обработки по всем испытательным циклам 8 мин. Концентрация пресс-массы варьировалась в диапазоне от 4 до 8 % с шагом 2 %.

Однофакторный эксперимент определения влияния продолжительности гидродинамической обработки на свойства плитных материалов проводился при установленной концентрации по всем испытательным циклам 6 %. Продолжительность обработки в гидродинамическом диспергаторе в каждый из циклов составляла соответственно 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 мин.

Определение совместного влияния принятых факторов гидродинамической обработки – концентрации пресс-массы,  $K$ , %, и продолжительности обработки,  $\tau_{обр}$ , мин, проводилось согласно матрице планирования полного факторного эксперимента  $2^2$ , представленной в приложение Б, таблица Б1.

Факторы и уровни их варьирования в двухфакторном эксперименте,

установленные с учетом результатов реализации однофакторных экспериментов, при определении влияния параметров гидродинамической обработки на физико-механические свойства плит представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Факторы и уровни варьирования параметров гидродинамической обработки

Наименование фактора	Обозначение	Шаг варьирования	Уровни		
			нижний (-1)	основной (0)	верхний (1)
Продолжительность обработки, мин	X1	2	6	8	10
Концентрация пресс-массы, %	X2	2	4	6	8

### 2.11.2 Планирование однофакторных экспериментов влияния параметров горячего прессования на физико-механические свойства плит

В качестве параметров горячего прессования для определения прочности при изгибе,  $\sigma_{изг}$ , прочности при растяжении перпендикулярно к пласти,  $\sigma_{раст\perp}$ , разбухания по толщине за 24 ч приняты: температура прессования плит без связующих,  $T$ , °С, влажность пресс-массы,  $W$ , %, удельная продолжительность прессования,  $\tau$ , мин/мм.

Для определения границ варьирования уровней факторов параметров режима горячего прессования на физико-механические свойства плит при проведении многофакторного эксперимента был проведен ряд исследований в соответствии с параметрами режимов прессования плитных материалов, представленных в таблицах 2.8-2.10.

Таблица 2.8 – Параметры режима прессования при проведении однофакторного эксперимента по определению влияния температуры прессования

Наименование параметра	Шаг варьирования	Диапазон значений	
		минимальное	максимальное
Температура прессования, °С	10	160	220
Влажность пресс-массы, %	-	200	
Удельная продолжительность прессования, мин/мм	-	2,6	
Удельное давление прессования, МПа	-	2,8	

Таблица 2.9 – Параметры режима прессования при проведении однофакторного эксперимента по определению влияния влажности-пресс-массы

Наименование параметра	Шаг варьирования	Диапазон значений	
		минимальное	максимальное
Влажность пресс-массы, %	20	140	260
Температура прессования, °С	-	190	
Удельная продолжительность прессования, мин/мм	-	2,6	
Удельное давление прессования, МПа	-	2,8	

Таблица 2.10 – Параметры режима прессования при проведении однофакторного эксперимента по определению влияния удельной продолжительности прессования

Наименование параметра	Шаг варьирования	Диапазон значений	
		минимальное	максимальное
Удельная продолжительность прессования, мин/мм	0,5	1,3	4,3
Температура прессования, °С	-	190	
Влажность пресс-массы, %	-	200	
Удельное давление прессования, МПа	-	2,8	

### 2.11.3 Планирование трехфакторного эксперимента влияния параметров горячего прессования на физико-механические свойства плит

Определение совместного влияния режимных параметров горячего прессования - температуры прессования плит,  $T$ , °С, влажности пресс-массы,  $W$ , %, удельной продолжительности прессования,  $\tau$ , мин/мм., проводилось согласно матрице планирования полного факторного эксперимента  $2^3$ , представленной в приложение Б, таблица Б2. Факторы и уровни их варьирования при проведении экспериментальных исследований представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Факторы и уровни варьирования

Наименование фактора	Обозначение	Шаг варьирования	Уровни		
			нижний (-1)	основной (0)	верхний (1)
Температура прессования, °С	X1	30	160	190	220
Влажность пресс-массы, %	X2	30	150	180	210
Удельная продолжительность прессования, мин/мм	X3	0,8	2,0	2,8	3,6

### **ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПЛИТ СЧЕТ АУТОГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ЧАСТИЦ КОРЫ**

Как было отмечено в 1 главе работы на формирование структуры плитного материала наибольшее влияние оказывает вид, геометрические размеры и форма частиц, участвующих в структурообразовании плитного материала [119, 120]. Размер, качество и форма частиц во многом определяется способом их получения. Для формирования плитных материалов на основе древесной коры предлагается её предварительная обработка в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации, работающем по принципу роторно-пульсационного аппарата. Данная обработка позволяет получить мелкодисперсную, гомогенную корьевую пресс-массу, способную формировать структуру плитного материала без использования связующих веществ.

#### **3.1 Влияние способа подготовки корьевой массы на свойства плит**

Ранее было отмечено, что кавитация в роторно-пульсационных аппаратах усиливает происходящие химические и физико-химические процессы в обрабатываемом сырье [94]. Древесная масса, прошедшая кавитационную обработку, по мнению авторов работы [121] имеет высокореакционные функциональные группы. В работе [122] кавитационная обработка древесного заполнителя, применяемого для получения опилкогипсобетона, улучшает их сцепление между заполнителем и матрицей из гипса. Положительное влияние при добавлении древесных опилок, прошедших кавитационную обработку в опилкобетон, отмечено в работе [123]. Авторы утверждают, что кавитационная обработка в гидродинамическом диспергаторе древесного сырья позволяет увеличить поверхность активного взаимодействия частиц древесины. В работе

[67] также отмечают, что активация древесины гидродинамическим способом с эффектом кавитации позволяет увеличить удельную поверхность частиц в 3 раза, что по мнению авторов указывает на фибрилляцию частиц и их высокую межфазную поверхность, а также на наличие на поверхности частиц активных функциональных групп. Схожее мнение, о повышенном содержании активных функциональных групп на поверхности древесных опилок, подвергнутых кавитационной обработке, выражают авторы работы [124].

Это позволяет предположить, что при обработке частиц коры в гидродинамическом диспергаторе РГГД-1 с эффектом кавитации будут происходить не только процессы существенного изменения фракционного состава, но и процессы связанные с изменением формы и повышением активности поверхностей частиц.

В работе автора [66] приведены результаты исследований по выявлению эффекта кавитации в гидродинамическом диспергаторе марки РГГД-1 при обработке древесного сырья. Исследования основывались на измерении концентрации пероксида водорода при его взаимодействии с красителем лейкокристаллическим фиолетовым в присутствии пероксидазы. Древесные опилки разделялись на 2 пробы, одна из которых выдерживалась в воде в течение 3 ч, вторая обрабатывалась в указанном аппарате. Автором установлено наличие кавитационных явлений, возникающих в процессе проводимой гидродинамической обработки древесной массы, по образованию пероксида водорода и увеличению температуры массы. Исходя из этого выдвинуто предположение, что обработка древесных опилок в гидродинамическом диспергаторе РГГД-1 происходит с эффектом кавитации, что обеспечивает высокую степень помола древесной массы.

Основываясь на рассмотренной выше работе [66] степень помола древесной коры в гидродинамическом диспергаторе РГГД-1 изучалась через показатель степени помола в зависимости от продолжительности обработки [125]. Результаты эксперимента представлены на рисунке 3.1. Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены в

приложении В. Для проведения обработки в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации кора предварительно измельчалась в молотковой мельнице как указано в главе 2. Показатель степени помола для коры предварительно измельченной в молотковой мельнице составил 7 °ШР. Наиболее значительное изменение степени помола предварительно измельченной коры отмечается с момента начала процесса гидродинамической обработки до достижения продолжительности обработки 8 мин. При увеличении продолжительности обработки от 8 до 14 мин показатель степени помола изменяется на 4 °ШР с 79 до 83 °ШР. Отсутствие явно выраженного изменения на данном диапазоне позволяет предположить, что обработка частиц коры более 8 мин является нецелесообразной и не приводит к значительным изменениям в размерно-качественных характеристиках массы.

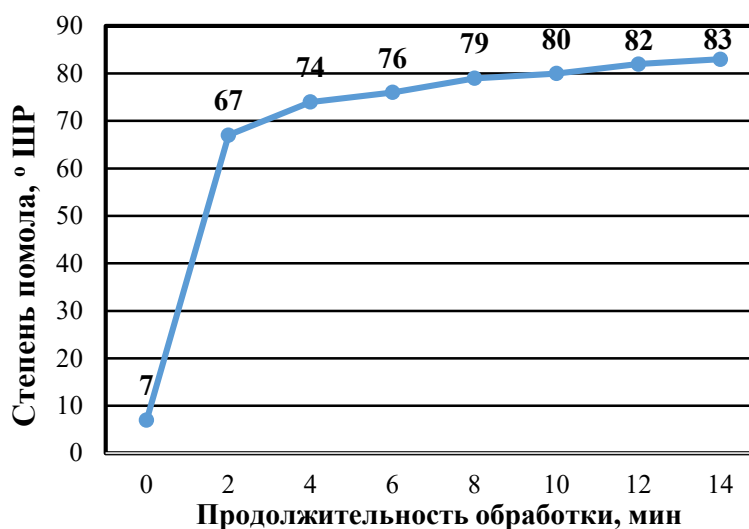


Рисунок 3.1 – Изменение степени помола коры от продолжительности обработки в гидродинамическом диспергаторе

В работах [66, 94, 98, 123, 126] отмечается, что при проведении гидродинамической обработки древесного сырья с эффектом кавитации был зафиксирован стремительный рост температуры обрабатываемой среды, что свидетельствует о наличии эффекта кавитации в процессе обработки. Аналогично при обработке коры в гидродинамическом диспергаторе наряду с увеличением показателя степени помола наблюдалось резкое повышение

температуры обрабатываемой корьевой суспензии с 9 до 97 °С. Также с увеличением количества частоты оборотов ротора диспергатора до требуемого максимального значения 2950 об/мин усиливалась вибрация рабочей зоны установки с одновременным усилением акустических явлений (появление шума и характерного постоянного свиста), что также характерно для протекающего эффекта кавитации.

Согласно данным приведенным в главе 1 и результатам проведенного эксперимента, можно сказать, что обработка коры в гидродинамическом диспергаторе позволяет получить гомогенную суспензию из мелкодисперсных частиц измельченной коры, что подтверждается высоким градусом помола частиц коры, что в свою очередь позволяет формировать плитные материалы без связующих веществ с однородной структурой и высокими прочностными показателями.

Необходимо отметить, что уменьшение размеров частиц, участвующих в процессе механизма образования структуры плиты, положительно влияет на увеличение удельной поверхности и увеличение числа контактов между корьевыми частицами в процессе прессования плиты [27].

Для подтверждения выдвигаемой гипотезы, полагающей, что в результате гидродинамической обработки частицы коры не только изменяют свои размерные характеристики, но и увеличивают свои аутогезионные свойства в результате увеличения внешней удельной поверхности, что вероятно обусловлено фибрилляцией частиц коры, был проведен дополнительный эксперимент. Были изготовлены два вида плит на основе корьевой пресс-массы, обработанной двумя способами: в гидродинамическом диспергаторе и в молотковой мельнице. У полученных пресс-масс определялся фракционный состав согласно методик, представленных в главе 2.

Результаты определения фракционного состава представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Фракционный состав массы

Размер фракции, мкм	Фракционный состав пресс-массы, %	
	Гидродинамически обработанная кора	Кора после молотковой мельницы
500-350	5	9
300-100	49	53
80-20	20	16
Менее 20 мкм	26	22

Из таблицы 3.1 видно, что фракционный состав масс, полученных методом гидродинамической обработки и методом механического измельчения в молотковой мельнице, отличается незначительно. При этом градус помола полученных пресс-масс коры значительно отличается. У корьевой массы, прошедшей гидродинамическую обработку степень помола, составила 79 °ШР, у массы, полученной путем механического измельчения в молотковой мельнице степень помола составила 11 °ШР.

Для проведения сравнительного анализа свойств плит на основе полученных масс были изготовлены образцы толщиной 4 мм по следующему режиму прессования: температура – 190 °С; удельная продолжительность – 2,8 м/мм; давление прессования – 4,4 МПа.

Из данных, представленных в таблице 3.2, можно сказать, что свойства плит на основе гидродинамически обработанной коры значительно превышают показатели свойств плит, полученных на основе коры, измельченной в молотковой мельнице. Значительные отличия в физико-механических свойствах изготовленных плит, несмотря на близкий по значениям фракционный состав исследуемых корьевых пресс-масс, обусловлены существенными качественными изменениями поверхности частиц коры, прошедшей гидродинамическую обработку, в результате воздействующих на них гидродинамических и кавитационных сил и эффектов, что также подтверждается существенной разницей градуса помола корьевых пресс-масс. При механическом измельчении в молотковой мельнице реализуется только ударное и рубящее воздействие, в результате которого происходит значительное

изменения фракционного состава корьевой массы, однако поверхность обработанных частиц остается развита слабо.

Таблица 3.2 – Свойства плит без связующих веществ на основе коры, обработанной в гидродинамическом диспергаторе и молотковой мельнице

Показатель	Значение показателей плит на основе корьевой пресс-массы	
	гидродинамически обработанные	после молотковой мельницы
Предел прочности при изгибе, МПа	24	4
Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа	0,69	0,1
Водопоглощение, %	9	28
Разбухание, %	5,7	20
Остаточная прочность при изгибе после вымачивания в воде в течение 24 ч, %	75	6

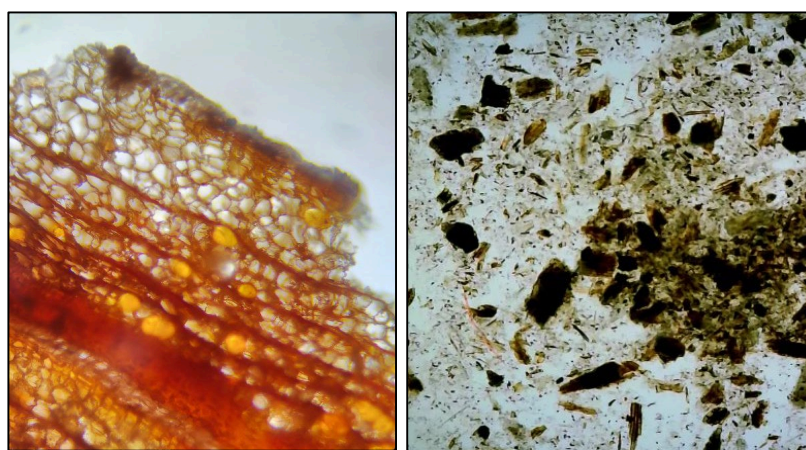
Для определения влияния способа подготовки на качественные характеристики частиц корьевые массы, полученные на молотковой мельнице и в гидродинамическом диспергаторе, исследовали показатель водоудерживающей способности согласно методики, приведенной в главе 2. Установлено, что показатель водоудерживающей способности корьевой массы, полученной в результате гидродинамической обработки, составляет 295 %, при этом данный показатель для массы, полученной в молотковой мельнице, составляет 118 %. Это свидетельствует об увеличении удельной поверхности частиц коры в результате гидродинамической обработки, благодаря чему, корьевые частицы приобретают высокие аутогезионные свойства, позволяющие сформировать структуру плитного материала без использования связующих веществ, что согласуется с работами авторов [127].

### 3.2 Влияния гидродинамической обработки на фракционный состав корьевой массы

В первой главе данной работы отмечалось, что для формирования плитных материалов на основе коры необходимо её измельчение до фракции менее 1 мм

с целью достижения материалами высоких показателей прочности и водостойкости [6, 7, 36]. Обеспечение данного фракционного состава измельченного материала и придание частицам высоких аутогезионных свойств достигается использованием гидродинамической обработки частиц коры.

Для понимания процессов изменения фракционного и структурного состава коры в результате гидродинамической обработки были сделаны микроснимки сосновой коры до и после обработки в гидродинамическом диспергаторе. На рисунке 3.2 представлено изображение поперечного среза коры до гидродинамической обработки и корьевой массы после обработки.



а

б

а – поперечный срез коры; б – частицы коры после гидродинамической обработки

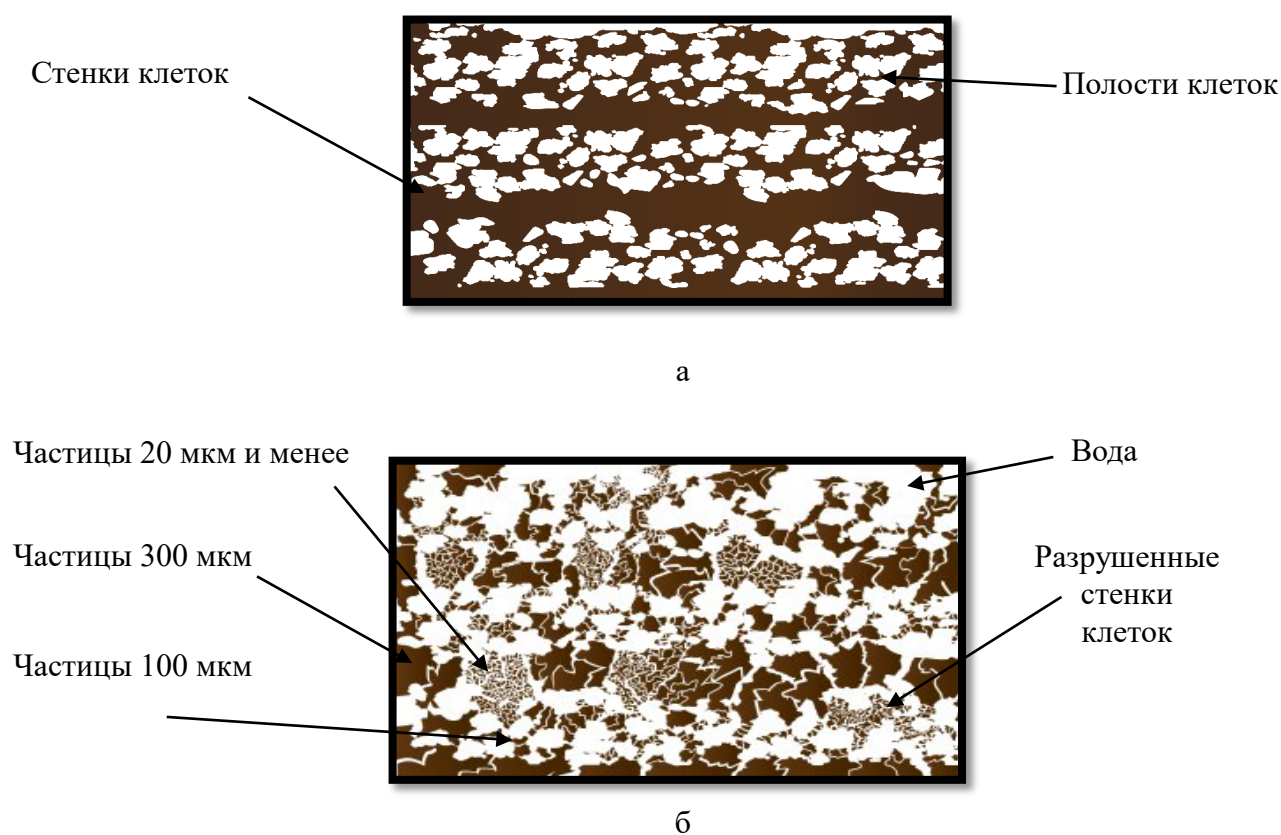
Рисунок 3.2 – Микроснимок коры *Pinus sylvestris* до и после гидродинамической обработки (Ув. 40×)

На рисунке 3.2а отчетливо видна пористая структура коры. Также видны крупные пробковые клетки феллемы, имеющие тонкие стенки, размер этих клеток, согласно проведенным измерениям от 70 до 150 мкм. На рисунке можно также выделить мелкие ситовидные клетки, которые согласно литературным источникам имеют непрочные целлюлозные оболочки [128-131]. Размер ситовидных клеток достигает 15-40 мкм [132].

В результате гидродинамической обработки образуется большое количество мелких частиц. На рисунке 3.2б представлен микроснимок

полученной коревой массы. Разрушенные частицы представляют собой в большей степени разрушенные клеточные стенки пробковых клеток. Размеры образуемых частиц варьируются в пределах от 10 до 350 мкм.

Основываясь на микроснимках, предложена схема условного разрушения коры в процессе гидродинамической обработки, представленная на рисунке 3.3, наглядно демонстрирующая процесс перехода коры из пористого в полидисперсное состояние с существенным уменьшением размерных характеристик основных анатомических элементов.



а – кора до обработки; б – кора после обработки

Рисунок 3.3 – Условное изображение процесса разрушения коры в процессе гидродинамической обработки

Для подтверждения достоверности предложенного процесса разрушения были сделаны микроснимки с большим разрешением (Ув.1000×). На рисунке 3.4 представлен фрагмент клеточной стенки коры, который в результате воздействия гидродинамических сил отделяется от полости клетки.

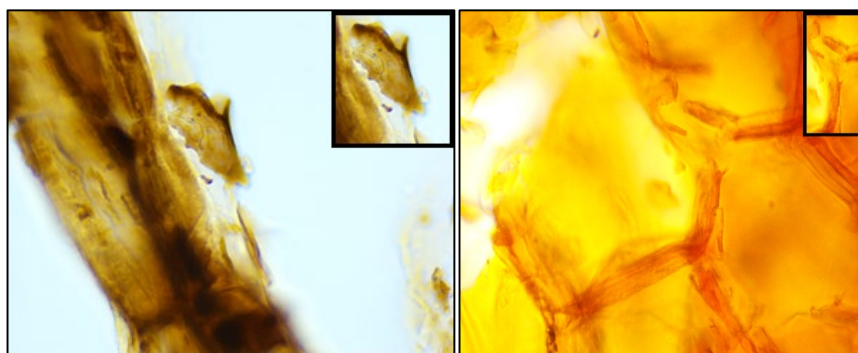


Рисунок 3.4 – Разрушение клеточной стенки коры (Ув. 1000×)

Для определения фракционного состава частиц коры предложенного процесса разрушения в гидродинамическом диспергаторе и его влияния на свойства получаемых плит без связующих веществ было произведено фракционирование полученной массы на просеивающей машине Retsch AS 200 Control, согласно методике, приведенной в главе 2. Результаты определения фракционного состава корьевой массы, прошедшей гидродинамическую обработку, представлены в таблице 3.3. Наглядно оценить долю каждой фракции в общем объеме корьевой пресс-массы можно с помощью круговой диаграммы, представленной на рисунке 3.5.

Таблица 3.3 – Фракционный состав корьевой пресс-массы после гидродинамической обработки

Размер ячейки, мкм	Массовая доля фракции, г	Процентная доля фракции, %
300	2,83	25,16
100	3,09	27,47
80	0,32	2,84
63	0,78	6,93
40	0,64	5,69
20	0,59	5,24
Менее 20	3	26,67
Итого	11,25	100

Как видно из представленных данных, наибольшую долю занимает фракция на сите 100 мкм, составляющая 27,47 %. Фракция с размером менее 20 мкм занимает – 26,67 %, фракция на сите 300 мкм – 25,16 %.

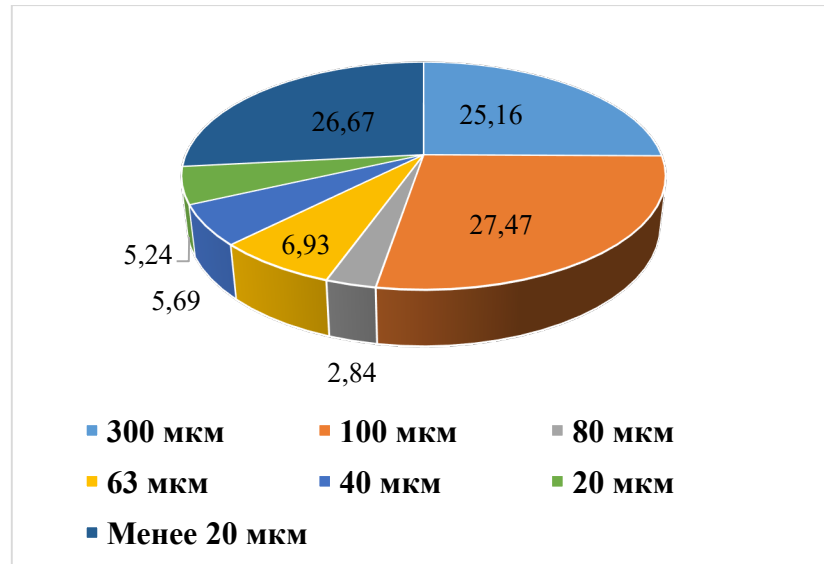


Рисунок 3.5 – Круговая диаграмма распределения фракций корьевой пресс-массы

Согласно литературным источникам [113, 114] мелкодисперсные частицы древесины способны вступать в взаимодействие с более крупными частицами, тем самым образуя связи в структуре плитных материалов. В случае гидродинамической обработки частиц коры образуется высокое содержание фракции размером менее 20 мкм, что также может способствовать формированию прочных аутогезионных связей при получении плитных материалов на основе коры.

Если рассматривать традиционное для производства древесноволокнистых плит разделение волокна на фракции, то согласно работам [84, 114, 133] выделяют 3 типа фракции древесного волокна: крупное (длина более 4 мм; диаметр более 0,5 мм), среднее (длина 4-1,5 мм, диаметр 0,1-0,05 мм), мелкое (длина 1,5-0,2 мм, диаметр 0,05-0,02 мм). Аналогично в полученной корьевой массе (таблица 3.3) можно выделить три группы размерных характеристик полученных частиц коры: крупные – от 100 до 300 мкм; средние – от 80 до 20 мкм; мелкие – менее 20 мкм. Отмечается, что мелкодисперсные частицы, обозначаемые в производстве ДВП термином «мелочь», оказывают большее влияние на качество массы и свойства получаемых плит. Согласно работе [114] мелкое волокно или «мелочь» главным образом определяет плотность

получаемого материала, а также выступает в качестве связующего элемента, заполняя промежутки между более крупными частицами.

В работах [6, 7] отмечается, что с уменьшением фракционного состава коры, как сырья при производстве пластиков без связующих веществ, значительно возрастают физико-механические показатели готовых материалов. По мнению авторов, это можно объяснить увеличением удельной поверхности частиц прессуемого материала. Также в работе [6] указывается, что при увеличении содержания сосновой коры в составе пластика, возрастают показатели водостойкости материала. Авторы выдвигают предположение, что увеличение показателя водостойкости плит связано с наличием в сосновой коре веществ, которые придают готовым материалам гидрофобные свойства. В работе [35], посвященной получению нефтяных сорбентов из сосновой коры, установлено, что измельчение коры *Pinus sylvestris* до фракции менее 0,14 мм является критическим размером частиц коры, как сорбента, в этом случае не происходят процессы смачивания и сорбции нефтепродуктов. Это возможно объясняется разрушением пористой структуры коры и, как следствие, отсутствием пространств для локализации жидкости. Измельченная до мелких размеров частица коры представляет элемент клеточной стенки пробковых клеток, срединная часть которой состоит из целлюлозных волокон, а внешние поверхности состоят преимущественно из лигнина, что согласуется с данными работ [102, 103]. Согласно источника [134] содержание лигнина в пробковой (корковой) части коры хвойных достигает 30-40 %, что обуславливает низкие показатели поглощения влаги мелкоизмельченными частицами коры, которые достигаются благодаря лигнину, который по своей природе является гидрофобным веществом фенольной природы. Ласкеевым П. Х. [114] отмечается, что именно мелкая фракция или «мелочь» при получении древесной массы определяет плотность бумажного листа и выступает в качестве связующего, путем заполнения пространств между волокнами. Схожее мнение отмечается в работе [133]. По мнению автора, наибольшую долю в общей массе должна занимать мелочь, так как она участвует в связеобразовании ковра, а

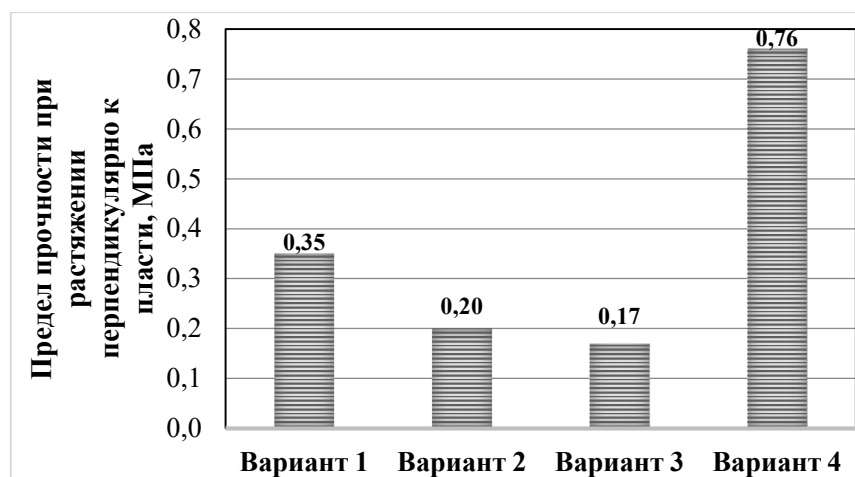
также обладает большой удельной поверхностью, что несомненно приводит к образованию когезионных связей и структурообразованию плиты.

Таким образом, использование мелкодисперсной фракции коры в производстве плитного материала должно способствовать получению одновременно прочных и водостойких плит за счет аутогезионного взаимодействия частиц.

### 3.3 Влияние мелкодисперсной фракции на физико-механические свойства плит

Для определения влияния мелкой фракции на процессы формирования аутогезионных связей в плитном материале на основе коры, а также влияния на прочностные свойства готовых плит был проведен ряд исследований [135]. Согласно методике прессования, представленной в главе 2, были изготовлены 4 группы образцов плитного материала на основе гидродинамически обработанной корьевой массы, предварительно промытой водой при различном соотношении корьевой массы и воды. Промывание водой проводилось с целью уменьшения в корьевой массе количества мелкой фракции в соответствии с методикой, приведенной в главе 2. Соотношение корьевой массы и добавляемой воды при промывании для первой группы образцов составило 1:15 (вариант 1), для второй группы – 1:30 (вариант 2), для третьей – 1:45 (вариант 3), где 1 – мас.ч. коры; 15, 30, 45 – мас.ч. воды. Четвертая контрольная группа образцов (вариант 4) изготавливалась на основе исходной гидродинамически обработанной корьевой массы.

Полученные образцы плитного материала испытывались на основные физико-механические показатели. Результаты испытаний представлены на рисунках 3.6–3.8.



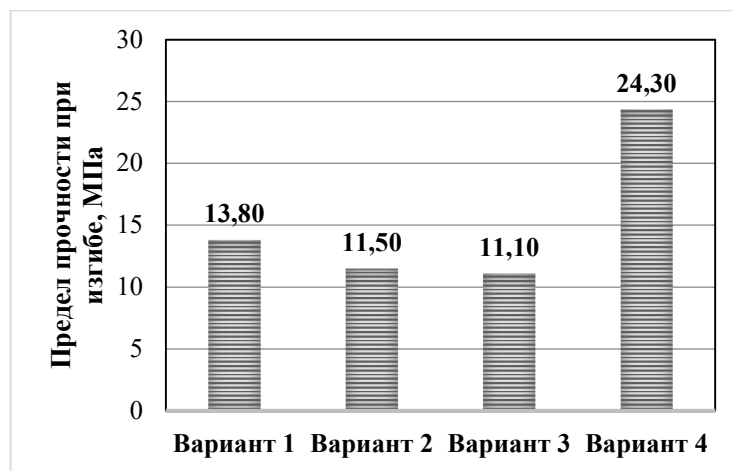
Вариант 1 – соотношение 1:15; вариант 2 – соотношение 1:30; вариант 3 – соотношение 1:45;  
 вариант 4 – контрольный вариант

Рисунок 3.6 – Предел прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти

Из гистограммы, представленной на рисунке 3.6, видно, что наибольшим показателем прочности при растяжении перпендикулярно к пласти обладают образцы плит на основе гидродинамически обработанной корьевой массы, не подвергнутой промыванию водой (вариант 4). Удаление мелкой фракции по первому варианту приводит к снижению прочности образцов плит с 0,76 до 0,35 МПа. Дальнейшее увеличение доли воды при промывании также приводит к заметному снижению прочности плит до 0,17 МПа, однако, разница значений показателей прочности между 2-м и 3-м вариантами промывки менее выраженная.

Удаление мелкой фракции с состава пресс-массы оказывает отрицательное влияние также на показатель прочности плит при изгибе. Свойства плит при изгибе представлены на рисунке 3.7. Из гистограммы видно, что прочность плит снижается на 10,5 МПа при промывании массы водой в соотношении 1:15. Дальнейшее увеличение доли воды при промывании корьевой массы оказывает менее выраженное влияние на прочность при изгибе, что согласуется с полученными данными по прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти. В работе [119] отмечено, что прочность при изгибе древесных плит обеспечивается за счет более крупных частиц, имеющих большее отношение

длины к толщине. Связеобразование между такими частицами и, как следствие, прочность плит в традиционных плитных материалах обеспечивается за счет синтетических связующих. Основываясь на данных, полученных в настоящей работе, можно выдвинуть предположение, что при отсутствии связующих веществ в составе плиты контакт между крупными частицами обуславливается наличием мелкой фракции, которая выполняет роль связующего компонента за счет развитой удельной поверхности мелких частиц, что согласуется с мнением автора работы [114].



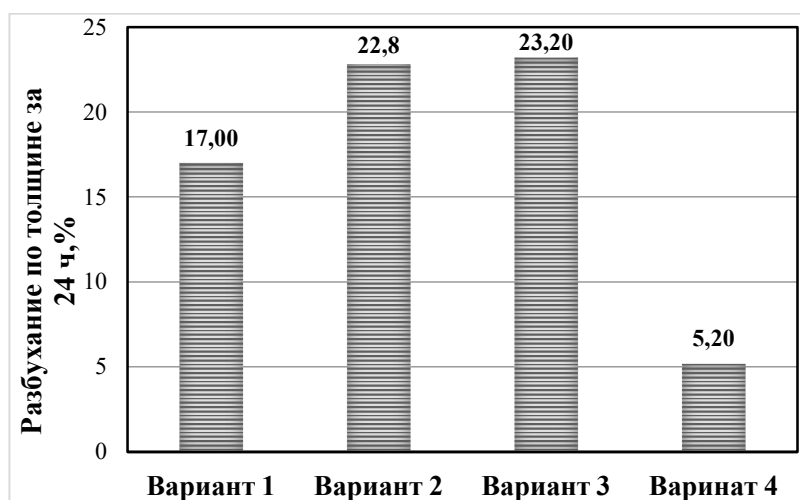
Вариант 1 – соотношение 1:15; вариант 2 – соотношение 1:30; вариант 3 – соотношение 1:45;  
вариант 4 – контрольный вариант

Рисунок 3.7 – Предел прочности плит при изгибе

Дополнительным показателем, способным характеризовать взаимодействие мелкой и крупной фракции между собой в плите, является разбухание плит по толщине, так как при недостаточном контакте между частицами пресс-массы разбухание плитного материала будет возрастать. Для большинства традиционных плитных материалов на основе измельченной древесины именно показатель разбухания является определяющим при обосновании выбора области использования разрабатываемого материала.

Из данных, представленных на рисунке 3.8, можно сказать, что показатель разбухания значительно ухудшается с увеличением доли воды при промывании корьевой пресс-массы. Разница в показателях между контрольным образцом

материала (вариант 4) и вариантом промывки 3, при котором масса промывалась при наибольшем количестве воды (1:45) составляет порядка 18 %, что является значительным изменением. Полученные результаты подтверждают выдвигаемое ранее предположение, что мелкая фракция создает целостный каркас внутри плиты путем заполнения пустот между более крупными частицами плиты с образованием прочных связей в ее структуре, тем самым блокируя возможность встраивания молекул воды между частицами.



Вариант 1 – соотношение 1:15; вариант 2 – соотношение 1:30; вариант 3 – соотношение 1:45;  
вариант 4 – контрольный вариант

Рисунок 3.8 – Разбухание плит по толщине за 24 ч

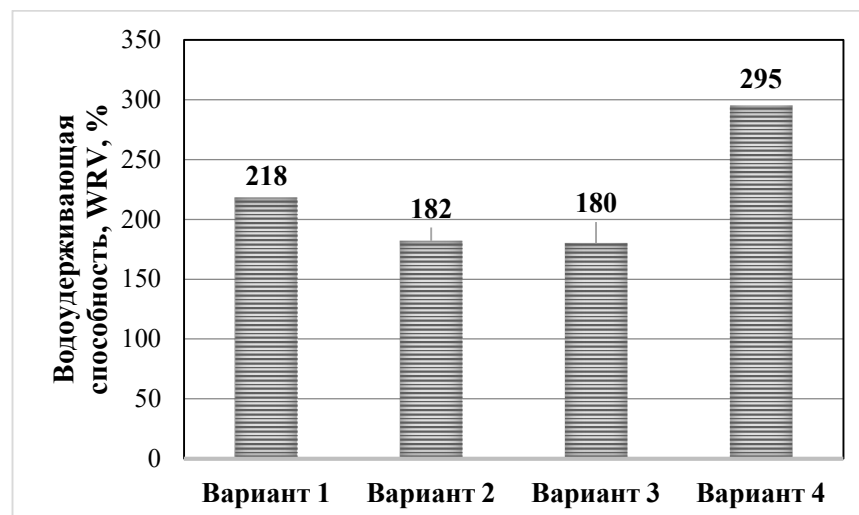
Таким образом, на основании проведенных выше экспериментальных исследований можно сказать, что мелкодисперсная фракция коры с размерами менее 20 мкм непосредственно участвует в процессе формирования структуры плитного материала, что обуславливается увеличением внешней удельной поверхности частиц мелкодисперсной фракции в процессе гидродинамической обработки и, как следствие, образованием большего числа контактов между частицами в процессе прессования материала.

Показателем, косвенно характеризующим увеличение удельной поверхности частиц, может являться показатель водоудерживающей способности (WRV). Также данный показатель может быть принят для

определения степени разработанности частиц коры при её обработке в гидродинамическом диспергаторе. Согласно источнику [136] показатель водоудерживающей способности является одним из определяющих показателей межволоконного связеобразования и формирования структуры материалов на основе древесного сырья. В работе [137] отмечается, что с увеличением WRV волокна увеличивается сцепление между древесными волокнами. Авторы работы [138] объясняют это тем, что при размолё на волокна древесины действуют гидродинамические силы, вследствие чего происходит укорочение волокон, расщепление поверхности и расчесывании фибриллярной структуры в продольном направлении. Авторы работы [139] утверждают, что водоудерживающая способность определяет количество воды, прочно удерживаемое волокнами. Для хорошо размолотых волокон показатель составляет от 200 до 250 %. Следовательно, показатель WRV может быть принят в качестве одной из характеристик для оценки качества корьевой пресс-массы, используемой для получения плит без связующих веществ.

Динамика изменения показателя водоудерживающей способности корьевой массы в зависимости от варианта промывки показана на рисунке 3.9. Наибольшим показателем водоудерживающей способности обладают образцы материала на основе гидродинамически обработанной корьевой массы не промытой водой, для неё показатель равен 295 %, что свидетельствует об увеличении внешней удельной поверхности частиц коры в процессе гидродинамической обработки. Требуется также отметить, что значимое снижение показателя WRV до 218 % наблюдается непосредственно при первом варианте промывания с соотношением корьевой массы и воды равным 1:15.

Основываясь на результатах проведенного эксперимента, а также на анализе литературных источников отечественных и зарубежных авторов, можно сказать, что образуемая в результате гидродинамической обработки мелкая фракция (менее 20 мкм) обладает развитой внешней удельной поверхностью вследствие фибрилляции частиц и способна образовывать аутогезионные связи с более крупными частицами в процессе горячего прессования.



Вариант 1 – соотношение 1:15; вариант 2 – соотношение 1:30; вариант 3 – соотношение 1:45;  
 вариант 4 – контрольный вариант

Рисунок 3.9 – Водоудерживающая способность массы

Основываясь на изученных литературных источниках [84, 85, 113, 120] и проведенных исследованиях можно предположить, что структура плитного материала на основе полученной массы формируется по следующему принципу: крупные частицы (100-300 мкм) выступают в качестве основного армирующего элемента в структуре плиты; частицы с размерами от 20 до 100 мкм выполняют роль наполнителя, заполняя пространство между крупными частицами; частицы мелочи (менее 20 мкм) выступают в качестве связующего компонента плиты, заполняя пространства между всеми видами частиц придавая плотность и водостойкость материалу.

Схема условного механизма структурообразования плитного материала представлена на рисунке 3.10.

В результате воздействия давления и температуры в процессе горячего прессования плитного материала гидродинамически обработанные крупные частицы коры фракцией 100–300 и 80–20 мкм переориентируются в горизонтальное положение параллельно плитам пресса, формируя основной каркас плиты, одновременно с этим образующиеся пространства между крупными частицами заполняются частицами мелкодисперсной фракции менее

20 мкм, которые, как было упомянуто ранее, обладают развитой внешней удельной поверхностью, что способствует увеличению числа поверхностных контактов между частицами в плите в процессе аутогезионного взаимодействия. Увеличение внешней удельной поверхности частиц обуславливает увеличение числа гидроксильных групп. При уменьшении расстояния между частицами коры в процессе прессования осуществляется сцепление частиц вследствие возникновения межволоконных водородных связей, образованных в том числе гидроксильными группами.

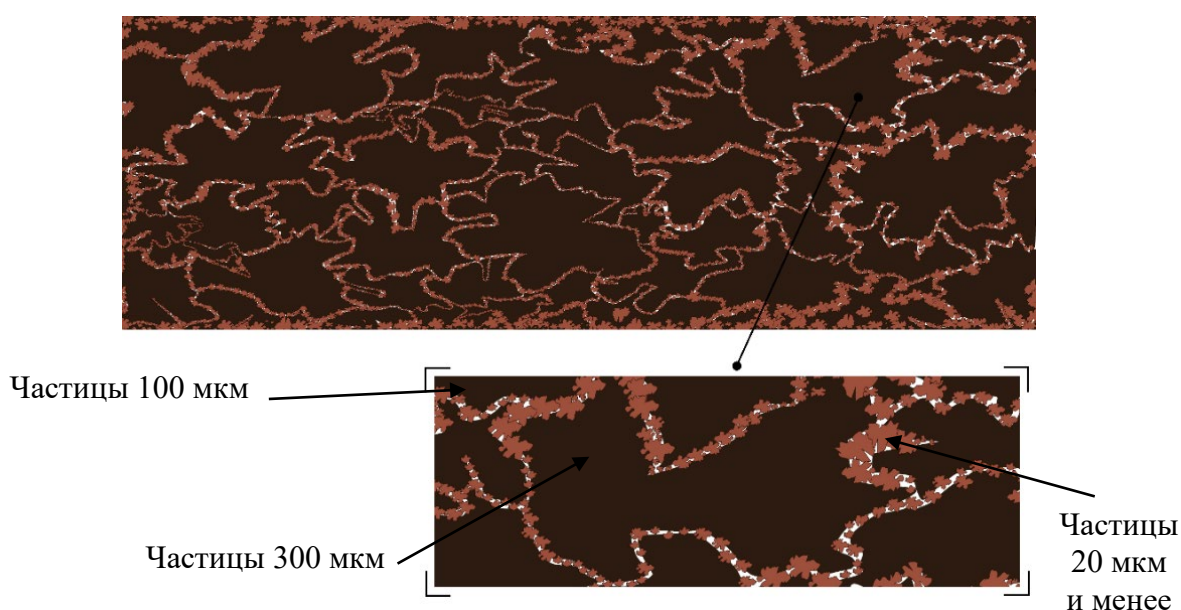


Рисунок 3.10 – Схема условного механизма структурообразования плиты из гидродинамически обработанных частиц коры

### Выводы по главе 3

1 Экспериментально доказано, что физико-механические свойства плитных материалов на основе гидродинамически обработанной коры сосны обыкновенной значительно превышают показатели свойств плит, полученных на основе коры, измельченной в молотковой мельнице. Повышение свойств плит обусловлено существенными качественными изменениями поверхности частиц коры в процессе гидродинамической обработки, вследствие воздействия на них гидродинамических сил и кавитационных эффектов.

2 Проведенные исследования указывают на значительные изменения степени помола и фракционного состава корьевой массы после обработки в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации. Степень помола корьевой массы в процессе обработки возрастает с 7 до 83 °ШР. Фракционный состав корьевой массы свидетельствует о преобладании в общем объеме трех фракций размерами – 300 мкм, 100 мкм и менее 20 мкм, их доли примерно равны и составляют соответственно: 25,16 %; 27,47 %; 26,67 %, на остальные фракции приходится порядка 20,7 %.

3 Установлено, что мелкодисперсная фракция с размерами менее 20 мкм оказывает значительное влияние на физико-механические показатели готовых плит, а также играет решающую роль в процессе образования аутогезионного взаимодействия между частицами при формировании структуры плит без связующих. Увеличение внешней удельной поверхности частиц коры приводит к существенному росту числа поверхностей контакта между частицами в плите, что подтверждается высоким показателем водоудерживающей способности, обработанной в гидродинамическом диспергаторе, корьевой массы - 295 %.

4 Разработана схема условного разрушения коры в процессе гидродинамической обработки, позволяющая наглядно оценить процесс перехода коры из пористого в полидисперсное состояние с существенным уменьшением размерных характеристик основных анатомических элементов, что обеспечивает повышение физико-механических показателей плитных материалов без связующих веществ.

5 Определен условный механизм структурообразования плитных материалов без связующих веществ в процессе горячего прессования за счет аутогезионного взаимодействия гидродинамически обработанных частиц коры. Предложена наглядная схема демонстрирующая формирование структуры плиты за счет взаимодействия обработанных крупных и мелких частиц вследствие высокой активности поверхности частиц мелкодисперсной фракции и увеличения числа поверхностных контактов между частицами коры.

## ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРЫ НА СВОЙСТВА ПЛИТ

### 4.1 Влияние параметров гидродинамической обработки на физико-механические свойства плит без связующих

Применение гидродинамической обработки для подготовки измельченной коры к процессу прессования плитного материала без связующих веществ является одной из основных операций, обеспечивающей качество будущих плит. Основными технологическими параметрами процесса гидродинамической обработки были приняты показатели: продолжительность обработки, мин, и концентрация массы, %.

Для определения границ варьирования параметра продолжительности гидродинамической обработки при проведении двухфакторного эксперимента был проведен ряд экспериментов, устанавливающих влияние продолжительности обработки корьевой массы,  $\tau_{обр}$ , мин, на прочность плит при изгибе,  $\sigma_{изг}$ , МПа, и прочность растяжении перпендикулярно пласти,  $\sigma_{расм\perp}$ , МПа. Продолжительность обработки в гидродинамическом диспергаторе изменялась от 2 до 14 мин с шагом равным 2 мин, при этом концентрация массы по всем испытательным циклам выдерживалась на уровне 6 %. Горячее прессование плит производилось согласно разработанной методике, представленной в главе 2. Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены в приложении Г.

Зависимости показателей прочности при изгибе и прочности при растяжении перпендикулярно к пласти от продолжительности гидродинамической обработки коры, представленные на рисунке 4.1, наглядно показывают значительное увеличение данных показателей в диапазоне изменения продолжительности обработки от 2 до 6 мин. С увеличением

продолжительности обработки с 2 до 6 мин прочность при изгибе возрастает с 4,3 до 19,6 МПа, прочность при растяжении перпендикулярно к пласти с 0,23 до 0,51 МПа. Таким образом, увеличение прочности в первом случае составляет 15,3 МПа, во втором – 0,28 МПа. При дальнейшем увеличении продолжительности обработки до 8 мин показатель прочности при изгибе увеличивается до 24,2 МПа, а затем незначительно снижается при увеличении продолжительности обработки до 14 мин с 24 до 23 МПа. Показатель прочности при растяжении перпендикулярно к пласти при аналогичных продолжительностях обработки увеличивается до 0,76 МПа, а затем незначительно возрастает до 0,8 МПа. С учетом описанных выше результатов диапазон варьирования продолжительности обработки принимается от 6 до 10 мин.

С целью выявления совместного влияния продолжительности обработки и концентрации на свойства плит был проведен ряд исследований согласно плану эксперимента, представленному в главе 2.

Совместное влияние факторов гидродинамической обработки на физико-механические показатели плит определялось согласно В-3 плану. Факторы и уровни их варьирования приведены в главе 2 в таблице 2.7.

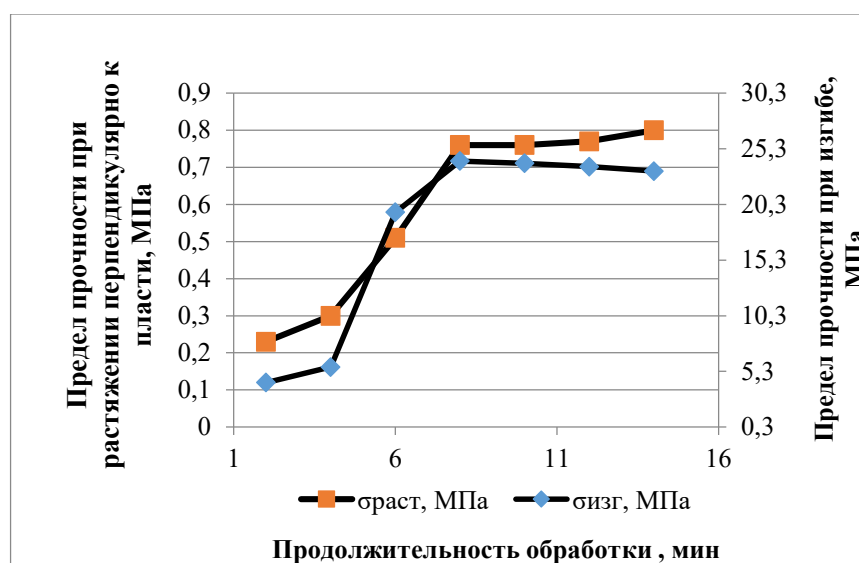


Рисунок 4.1 – Зависимость показателей прочности плит при изгибе и прочности при растяжении перпендикулярно к пласти от продолжительности обработки коревой массы

Совместное влияние параметров гидродинамической обработки на физико-механические свойства плит без связующих определялось по показателям предела прочности при изгибе,  $\sigma_{изг}$ , МПа, прочности при растяжении перпендикулярно к пласти,  $\sigma_{раст\perp}$ , МПа, и по показателю разбухания плит по толщине за 24 часа,  $V$ , %. Оценка влияния исследуемых факторов проводилась по стандартизированной диаграмме Парето, графической интерпретации уравнения регрессии и графикам эффектов факторов и их взаимодействий, приведенных на рисунках 4.2 – 4.13.

Вклад каждого фактора, наглядно отраженный на диаграмме Парето, рисунок 4.2, в виде горизонтальных полос эквивалентных  $t$ -статистике каждого эффекта, пересекающихся вертикальной линией, характеризующей границу статистической значимости эффектов с 95 %-й доверительной вероятностью, демонстрирует максимальное влияние фактора продолжительности обработки на выходную величину.

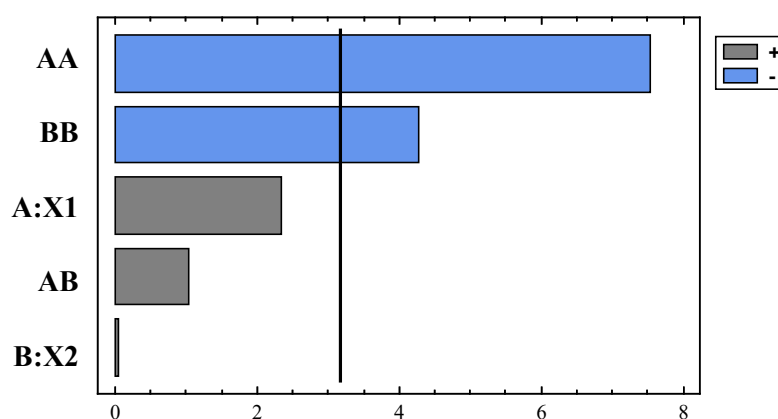


Рисунок 4.2 – Стандартизированная диаграмма Парето при исследовании прочности при изгибе

В результате математической обработки экспериментальных данных, были получены уравнения регрессии, выражающие зависимости прочности при изгибе изготовленных образцов плит от продолжительности обработки и концентрации.

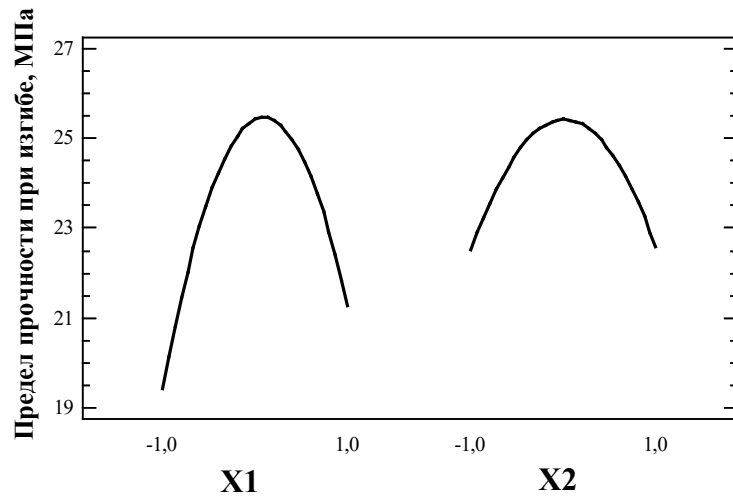


Рисунок 4.3 – График эффектов факторов при исследовании прочности при изгибе

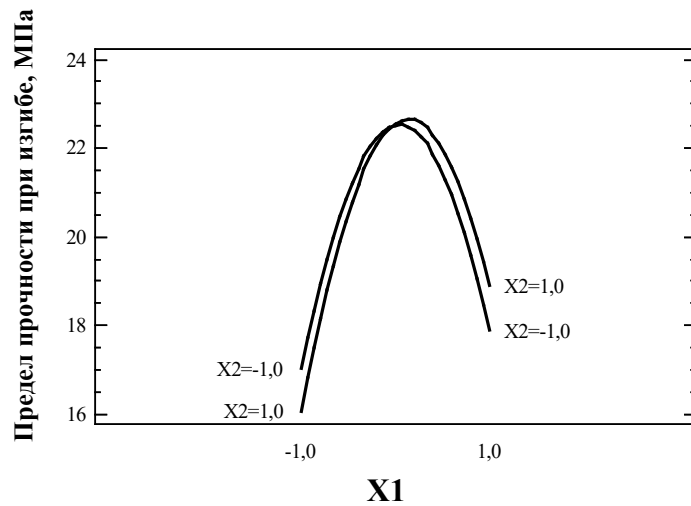


Рисунок 4.4 – График эффектов взаимодействий факторов при исследовании прочности при изгибе

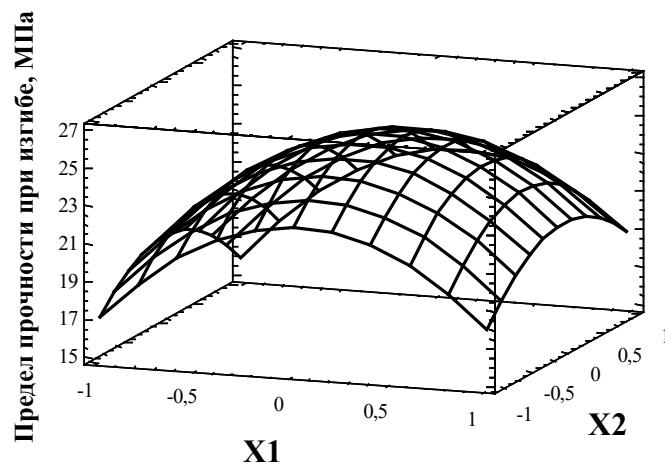


Рисунок 4.5 – Графическая интерпретация уравнения регрессии при исследовании прочности при изгибе

Для полноты представления о характере и уровне влияния факторов уравнения 4.1 и 4.2 приведены со всеми коэффициентами, включая незначимые:

- в нормализованном виде

$$\sigma_{изг} = 25,422 + 0,917X_1 + 0,0167X_2 - 5,083X_1^2 + 0,5X_1X_2 - 2,883X_2^2, \quad (4.1)$$

- в натуральном виде

$$\sigma_{изг} = 0,125 \cdot \tau \cdot K - 1,271 \cdot \tau^2 + 20,040 \cdot \tau - 0,721 \cdot K^2 + 7,657 \cdot K - 79,571. \quad (4.2)$$

Результаты регрессионного анализа для показателя предела прочности плит при изгибе представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты регрессионного анализа для выходного параметра предела прочности при изгибе

Наименование	Значение
Коэффициент детерминации $R^2$ , %	96,449
Стандартная погрешность	0,9552
Средняя абсолютная погрешность	0,4543
Критерий Дарбина-Уотсона	1,3539(P=0,0863)

Эффективность полученного уравнения регрессии подтверждается высоким значением коэффициента детерминации  $R^2 = 96,449$ , следовательно, полученная модель с высокой точностью описывает проведенный эксперимент.

Анализ адекватности уравнения регрессии, выполненный с помощью критерия Дарбина-Уотсона, позволяет оценить наличие корреляции остатков (разность между наблюдаемыми и предсказанными значениями выходной величины) уравнения регрессии. Гипотеза об автокорреляции остатков принимается с вероятностью  $1-P$ , если уровень значимости критерия Дарбина-Уотсона меньше 5 %, соответственно  $P < 0,05$ ; в противном случае эта гипотеза отвергается в пользу альтернативной гипотезы об отсутствии автокорреляции [119, 120]. В нашем случае (таблица 4.1) условие отсутствия

корреляции остатков выполняется, поскольку статистике  $DW = 1,3539$  соответствует уровень значимости  $PDW=0,0863 > 0,05$ . Таким образом, проверка полученного уравнения регрессии по критерию Дарбина-Уотсона подтверждает адекватность полученной модели. Статистическая обработка результатов двухфакторных экспериментов по исследованию показателей прочности при растяжении перпендикулярно пласти,  $\sigma_{расм\perp}$ , МПа, и разбухания плит по толщине за 24 ч,  $V$ , %, проводилась аналогичным способом.

Как следует из приведенных графических зависимостей (см. рисунки 4.2–4.4) наибольшее влияние на прочность плит при изгибе оказывает продолжительность обработки корьевой массы. Концентрация оказывает значительно меньшее влияние, изменяя прочность в диапазоне от 23 до 25 МПа. В обоих случаях зависимости носят экстремальный характер. При увеличении продолжительности обработки от 6 до 8 мин прочность при изгибе увеличивается с 19 до 24,4 МПа, однако при дальнейшем увеличении продолжительности обработки величина показателя прочности при изгибе снижается и при продолжительности обработки 10 мин и концентрации 6 % составляет около 21 МПа. Можно предположить, что при увеличении до определенного предела продолжительности обработки происходит увеличение внешней удельной поверхности частиц коры, что способствует образованию большого количества аутогезионных связей между ними. При дальнейшем увеличении продолжительности обработки происходит чрезмерное измельчение частиц коры, что приводит к изменению пропорционального содержания крупных и мелких частиц коры в массе. Уменьшение количества крупных частиц в массе по отношению к мелким частицам приводит к снижению количества армирующих элементов в плите, которые оказывают прямое влияние на прочность при изгибе [117]. При рассмотрении совместного влияния факторов на прочность при изгибе (рисунок 4.4), также отмечается незначительное влияние концентрации массы. При увеличении концентрации массы от минимального уровня варьирования к максимальному от 4 до 8 % и нахождении продолжительности обработки на нижнем уровне варьирования (2 мин)

прочность плит снижается на величину около 1 МПа, при нахождении продолжительности обработки на верхнем уровне варьирования и изменении концентрации массы от нижнего уровня варьирования к верхнему прочность плит при изгибе изменяется обратно пропорционально, возрастает примерно на такую же величину – около 1 МПа. Такой характер изменения прочности плит можно объяснить тем, что при минимальной продолжительности обработки и высокой концентрации коревой массы не происходит достижения частицами коры требуемой степени измельчения, следовательно, при формировании плит не образуется достаточного количества аутогезионных связей необходимых для обеспечения прочностных показателей плитного материала. В тоже время максимальная продолжительность обработки массы с высокой концентрацией обеспечивает получение необходимого количества мелких частиц с большой внешней удельной поверхностью и достаточного количества крупных частиц, выступающих в качестве армирующего элемента, что обеспечивает более высокие показатели прочности плит при изгибе в отличие от плит, полученных из коревой массы, обработанной при максимальной продолжительности и низкой концентрации. Низкая концентрация пресс-массы вызывает ее избыточно мелкое измельчение, что способствует снижению прочности плит при изгибе. Также следует отметить, что плиты из пресс-массы, полученной при максимальной продолжительности обработки, вне зависимости от ее концентрации обладают более высокими показателями прочности в сравнении с плитами из пресс-массы обработанной при минимальной продолжительности.

Показатель прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти,  $\sigma_{раст\perp}$ , МПа, позволяет оценить силу внутренних связей между измельченными частицами коры [135]. Результаты исследования влияния параметров гидродинамической обработки массы на прочность плит при растяжении перпендикулярно к пласти, представленные на рисунках 4.6–4.9, показывают, что прочность плит при растяжении перпендикулярно к пласти в значительной степени зависит от продолжительности обработки. Изменение концентрации от 6 до 8 % при продолжительности обработки 8 мин носит экстремальный характер

и изменяет прочность на величину около 0,1 МПа. Совместное влияние факторов также характеризуется большими показателями прочности при максимальной концентрации массы как на нижнем, так и на верхнем уровне варьирования продолжительности обработки. Уравнения регрессии 4.3 и 4.4, выражающие зависимости прочности при растяжении перпендикулярно к пласти изготовленных образцов плит от продолжительности обработки и концентрации, полученные в результате математической обработки экспериментальных данных также представлены со всеми коэффициентами, включая незначимые:

- в нормализованном виде

$$\sigma_{расм\perp} = 0,77 + 0,15X_1 + 0,01167X_2 - 0,14X_1^2 + 0,0075X_1X_2 - 0,145X_2^2, \quad (4.3)$$

- в натуральном виде

$$\sigma_{расм\perp} = 0,646 \cdot \tau - 0,002 \cdot \tau \cdot K - 0,035 \cdot \tau^2 + 0,036 \cdot K^2 - 0,414 \cdot K - 0,890. \quad (4.4)$$

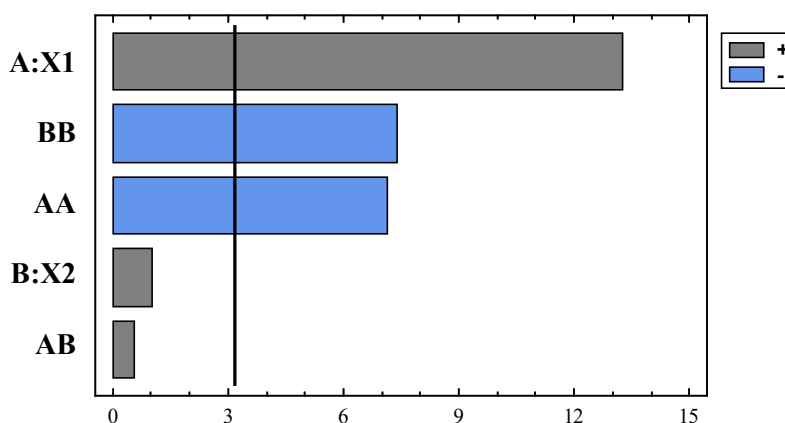


Рисунок 4.6 – Стандартизированная диаграмма Парето при исследовании прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

Результаты регрессионного анализа для показателя предела прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти представлены в таблице 4.2.

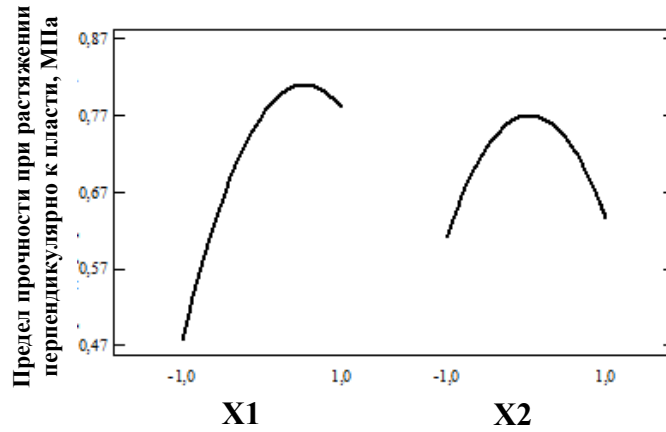


Рисунок 4.7 – График эффектов факторов при исследовании прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

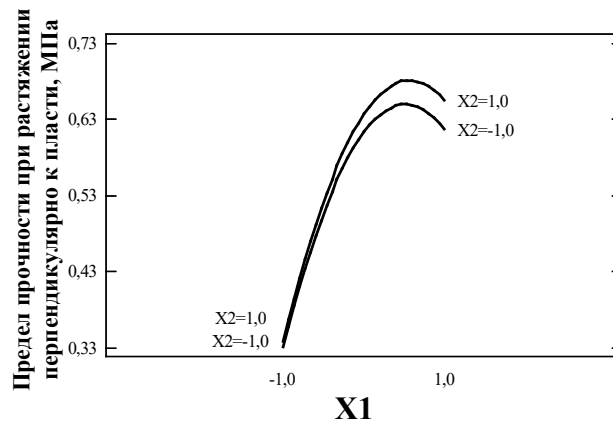


Рисунок 4.8 – График эффектов взаимодействия факторов при исследовании прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

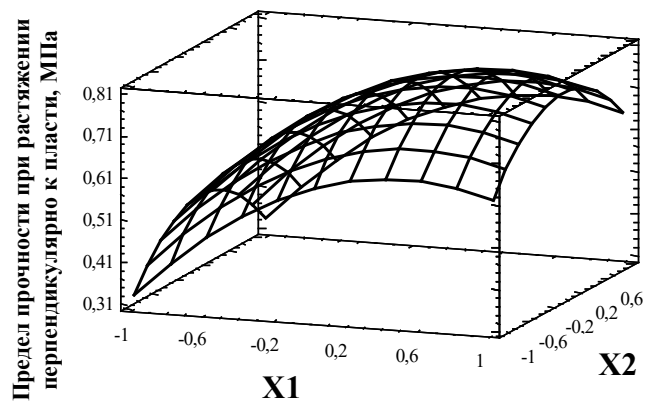


Рисунок 4.9 – Графическая интерпретация уравнения регрессии при исследовании прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

Таблица 4.2 – Результаты регрессионного анализа для выходного параметра предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

Наименование	Значение
Коэффициент детерминации $R^2$ , %	98,948
Стандартная погрешность	0,0277
Средняя абсолютная погрешность	0,01407
Критерий Дарбина-Уотсона	2,4022(P=0,6680)

Одним из важных показателей качества древесных плит является их способность сохранять свои линейные размеры в процессе эксплуатации во влажной среде. Оценка данного свойства производилась по показателю разбухания плит по толщине после выдержки в воде в течение 24 ч. На рисунках 4.10–4.13 приведены результаты обработки экспериментальных исследований зависимости разбухания плит по толщине от параметров гидродинамической обработки корьевой массы. Увеличение продолжительности обработки массы приводит к значительному снижению показателя разбухания плит, что обуславливается планомерным уменьшением среднего размера частиц в процессе обработки, и, как следствие, их более плотной укладке в процессе горячего прессования, что препятствует встраиванию молекул воды в структуру материала. При этом увеличение концентрации массы при гидродинамической обработке до основного уровня (6 %) снижает показатель разбухания плит, при дальнейшем увеличении концентрации показатель разбухания плит по толщине возрастает. Это объясняется невозможностью качественного размола частиц в процессе гидродинамической обработки ввиду высокой концентрации массы, что приводит к увеличению среднего размера частиц массы и менее плотной укладке при прессовании. На графике эффектов взаимодействия факторов наглядно видно, что плиты, изготовленные на основе гидродинамически обработанных частиц при минимальной концентрации массы равной 6 %, в целом имеют показатель разбухания по толщине меньше на всем диапазоне варьирования продолжительности обработки в сравнении с плитами, изготовленными на основе частиц, обработанных при максимальной концентрации массы. В результате математической обработки

экспериментальных данных были получены уравнения регрессии 4.5 и 4.6, выражающие зависимости разбухания плит от продолжительности обработки и концентрации:

- в нормализованном виде

$$V=5,333-2,6X_1+0,25X_2+2,4X_1^2-0,1X_1X_2+1,65X_2^2, \quad (4.5)$$

- в натуральном виде

$$V=0,025 \cdot \tau \cdot K - 0,6 \cdot \tau^2 + 8,15 \cdot \tau - 0,4125 \cdot K^2 + 4,625 \cdot K - 35,567. \quad (4.6)$$

Результаты регрессионного анализа для показателя разбухания плит по толщине за 24 ч представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Результаты регрессионного анализа для выходного параметра разбухания плит по толщине за 24 ч

Наименование	Значение
Коэффициент детерминации $R^2$ , %	99,1105
Стандартная погрешность	0,4163
Средняя абсолютная погрешность	0,2074
Критерий Дарбина-Уотсона	2,55769 (P=0,7601)

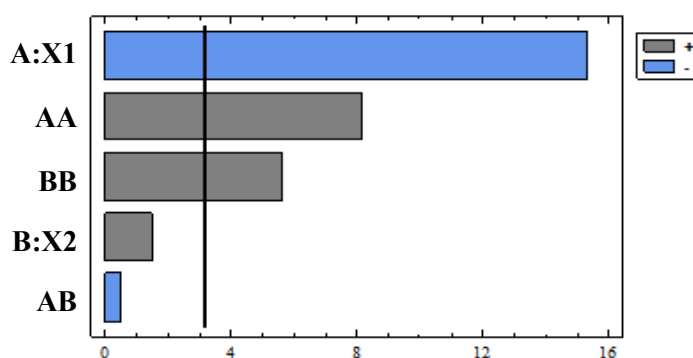


Рисунок 4.10 – Стандартизированная диаграмма Парето при исследовании разбухания плит за 24 ч

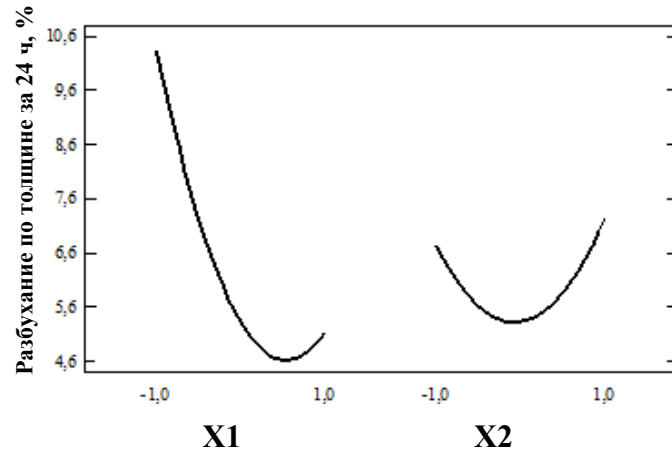


Рисунок 4.11 – График эффектов факторов при исследовании разбухания плит за 24 ч

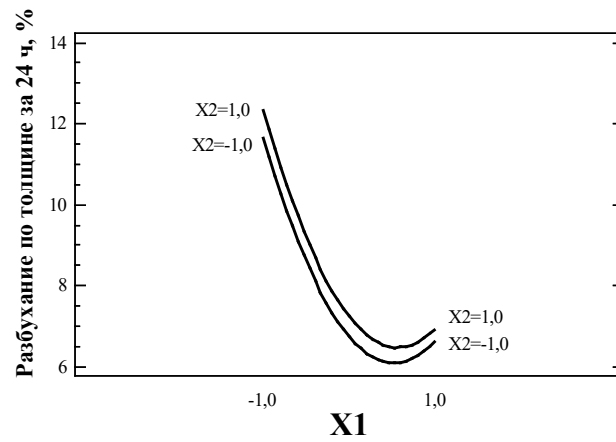


Рисунок 4.12 – График эффектов взаимодействий факторов при исследовании разбухания плит за 24 ч

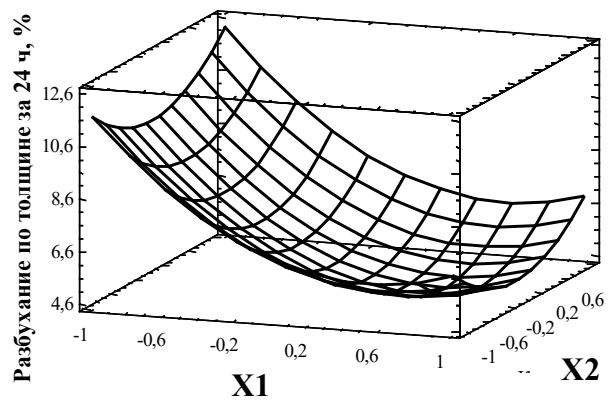


Рисунок 4.13 – Графическая интерпретация уравнения регрессии при исследовании разбухания плит за 24 ч

## 4.2 Решение оптимизационной задачи

С целью оптимизации параметров гидродинамической обработки корьевой массы, обеспечивающей наилучшие показатели физико-механических свойств плитных материалов, был проведен ряд однокритериальных оптимизаций в программе *STATGRAPHICS Centurion 18*. Результаты решения поставленных задач представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Оптимальные значения исследуемых факторов и параметров оптимизации

Наименование	Экстремум	Нормализованные значения переменных факторов		Натуральные значения переменных факторов		Натуральные значения выходного параметра
		X1	X2	$\tau$	$K$	
Прочность при изгибе, $\sigma_{изг}$ , МПа	max	0,0908	0,0106	8	6	25,464
Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти, $\sigma_{расм\perp}$ , МПа	max	0,5372	0,0539	9	6	0,811
Разбухание по толщине за 24 ч, $V$ , %	min	0,5403	-0,0593	9	5	4,620

Определение оптимального режима гидродинамической обработки проводилось с использованием универсального математического программного продукта MathCAD. В качестве целевой функции принимаем показатель предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти,  $\sigma_{расм\perp}$ . Выставляем следующие ограничения  $V \leq 5$  %;  $\sigma_{изг} \geq 25$  МПа;  $6 \text{ мин} \leq \tau \leq 10 \text{ мин}$ ;  $4 \% \leq K \leq 8 \%$ . В результате решения поставленной задачи оптимизации были определены оптимальные натуральные значения варьируемых факторов для процесса гидродинамической обработки корьевой массы: продолжительность обработки  $\tau = 8$  мин; концентрация пресс-массы  $K = 6$  %.

Выходные параметры в случае использования результатов проведенной оптимизации принимают следующие аналитические значения: предел прочности

при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{расм\perp} = 0,8$  МПа; предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 25,3$  МПа; разбухание по толщине за 24 ч  $V = 4,85$  %.

Показатели физико-механических свойств корьевых плит без связующих веществ, полученных при оптимальных условиях технологического процесса гидродинамической обработки, имели следующие значения: предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 25,1$  МПа; предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{расм\perp} = 0,78$  МПа; разбухание по толщине за 24 ч  $V = 5$  %.

#### **Выводы по главе 4**

1 Установлено, что основные параметры гидродинамической обработки: продолжительность обработки и концентрация частиц коры в воде, оказывают существенное влияние на размерно-качественные характеристики коревой пресс-массы и как следствие, на аутогезионное взаимодействие между частицами, что во многом определяет процесс структурообразования плит без связующих веществ и их физико-механические свойства.

2 Основное влияние на прочность при изгибе и растяжении перпендикулярно к пласти оказывает продолжительность гидродинамической обработки коревой пресс-массы. Концентрация массы на прочностные свойства плит практически не влияет, однако оказывает существенное влияние на показатель разбухания плит по толщине.

3 Физико-механические свойства плит, полученных при оптимальных значениях гидродинамической обработки коревой массы: продолжительность обработки 8 мин и концентрация коревой массы 6 %, имели следующие значения:

- предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 25,1$  МПа;
- предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{расм\perp} = 0,78$  МПа;
- разбухание по толщине за 24 ч  $V = 5,0$  %.

## ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛИТ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ

Прессование плит, подготовка корьевой массы и исследование физико-механических свойств проводилось согласно методикам, указанным в главе 2, и основывалось на ранее полученных результатах исследований, приведенных в работах [140-149]. Оценка физико-механических свойств плит без связующих веществ из коры хвойных производилась по показателям прочности при изгибе,  $\sigma_{изг}$ , прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты,  $\sigma_{раст\perp}$ , показателю разбухания по толщине за 24 ч,  $V$ . Установление уровней варьирования переменных факторов в многофакторном эксперименте по определению влияния технологических параметров горячего прессования на вышеуказанные свойства плит проводилось экспериментально путем реализации однофакторных экспериментов. Основные постоянные параметры однофакторных экспериментов представлены в главе 2, таблица 2.8-2.10. Исследования влияния режимных параметров горячего прессования на свойства плитных материалов без связующих осуществлялось с использованием коры сосны, подвергнутой гидродинамической обработке при следующих параметрах, установленных в главе 4: продолжительность обработки – 8 мин, концентрация массы коры – 6 %. Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены в приложении Д.

### 5.1 Исследование влияния температуры прессования на физико-механические свойства плит

На рисунке 5.1 представлены графические зависимости прочности при изгибе,  $\sigma_{изг}$ , прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты,  $\sigma_{раст\perp}$ , разбухания по толщине за 24 ч от температуры прессования плит без связующих,  $T$ , °С. Диапазон варьирования температуры прессования для проведения

однофакторного эксперимента принят на основе литературных данных по прессованию древесных плит с применением связующих веществ и без применения связующих. Увеличение температуры прессования на всем принятом диапазоне варьирования от 160 до 220 °С приводит к улучшению показателя прочности при растяжении плиты перпендикулярно к пласти и показателя разбухания плит по толщине. Прочность плит при растяжении перпендикулярно к пласти плиты возрастает в диапазоне от 0,6 до 0,81 МПа, разбухание по толщине монотонно снижается от 7 до 4,5 %. Повышение данных показателей связано с углублением процесса структурообразования плит и повышением их плотности в результате пьезотермической обработки, возникающей за счет увеличения температуры прессования. При этом увеличение температуры прессования на величину более 200 °С приводит к снижению прочности плит при изгибе, что объясняется процессами термодеструкции и окисления поверхностных слоев корьевой плиты с образованием микротрещин. Учитывая достаточно высокие показатели физико-механических свойств корьевых плит на всем рассматриваемом диапазоне варьирования температуры прессования устанавливаем нижний уровень равным 160 °С, верхний – 220 °С.

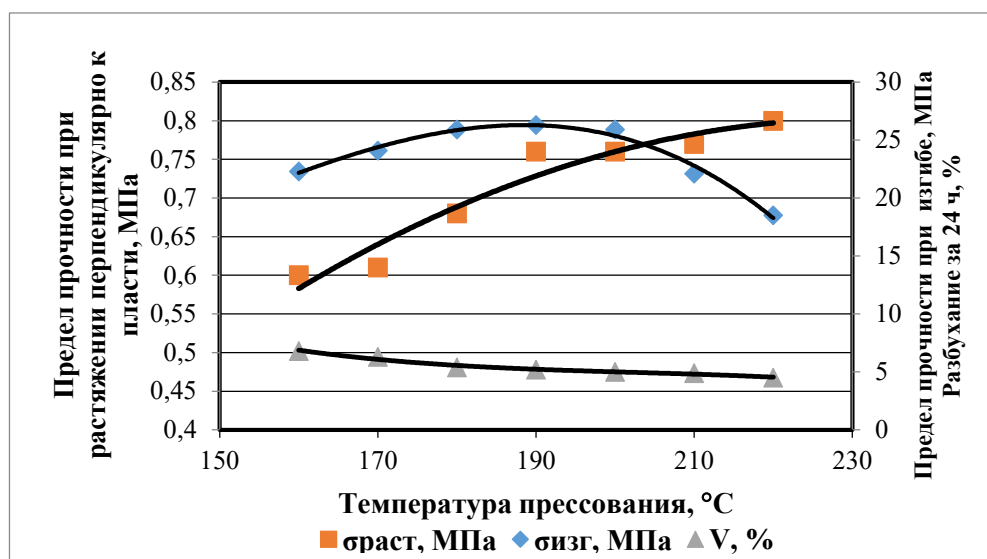


Рисунок 5.1 – Зависимость предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, предела прочности при изгибе и разбухания по толщине от температуры прессования

## 5.2 Исследование влияния влажности корьевой пресс-массы на физико-механические свойства плит

На рисунке 5.2 представлены графические зависимости прочности при изгибе,  $\sigma_{изг}$ , прочности при растяжении перпендикулярно к пласти,  $\sigma_{расп\perp}$ , разбухания по толщине за 24 ч от влажности корьевой пресс-массы,  $W$ , %.

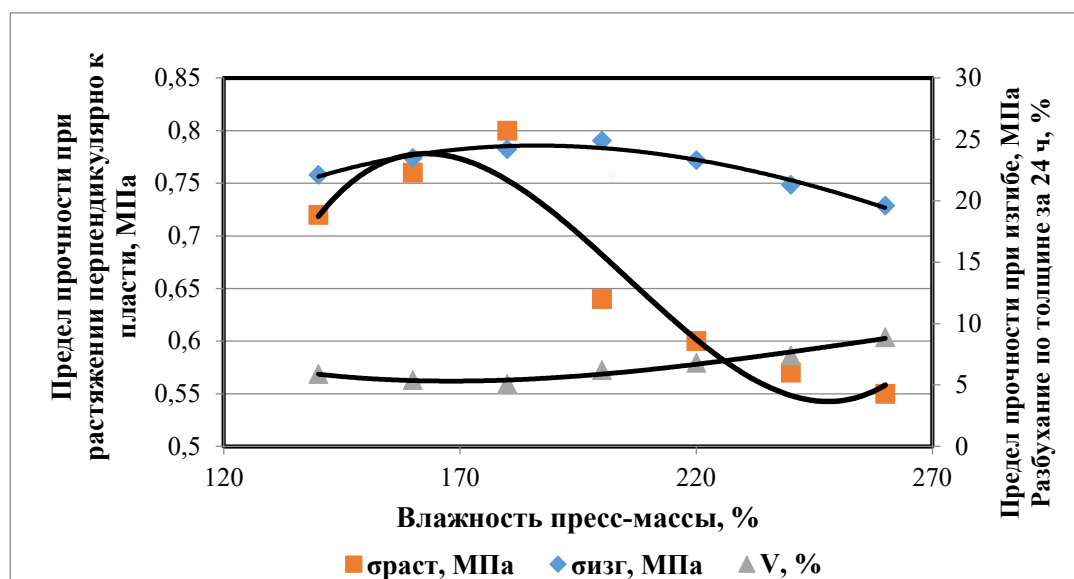


Рисунок 5.2 – Зависимость предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, предела прочности при изгибе и разбухания по толщине от влажности корьевой пресс-массы

Приведенные зависимости наглядно показывают, что увеличение влажности корьевой пресс-массы приводит к увеличению показателя прочности при изгибе и уменьшению показателя разбухания плит по толщине за 24 ч в диапазоне варьирования влажности пресс-массы от 140 до 200 %, дальнейшее увеличение влажности пресс-массы приводит к ухудшению данных показателей. Влияние влажности пресс-массы на показатель прочности плиты при растяжении перпендикулярно к пласти имеет более сложный характер зависимости: при увеличении влажности пресс-массы от 140 до 180 % наблюдается увеличение прочности, при влажности пресс-массы более 200 % прочность при растяжении перпендикулярно к пласти имеет явно выраженную тенденцию к снижению. Такой характер изменения прочностных свойств

материала можно объяснить отсутствием возможности отвода излишней влаги из центра плиты в процессе прессования ввиду высокой плотности укладки частиц коры и их повышенной водоудерживающей способности, обусловленной воздействием на них гидродинамических сил в процессе обработки в диспергаторе.

Таким образом, принимаем нижний уровень диапазона варьирования влажности коревой пресс-массы равным 150 %, верхний уровень – равным 210 %.

### 5.3 Исследование влияния продолжительности горячего прессования на физико-механические свойства плит

Графические зависимости прочности при изгибе  $\sigma_{изг}$ , прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{расп\perp}$ , разбухания по толщине за 24 ч от удельной продолжительности прессования,  $\tau$ , мин/мм, представленные на рисунке 5.3, демонстрируют увеличение показателей прочности при изгибе и растяжении перпендикулярно к пласти в диапазоне варьирования удельной продолжительности прессования от 1,3 до 2,8 мин/мм, с последующим существенным снижением значений показателей прочности. Аналогичный, но обратный и менее выраженный, характер зависимости наблюдается при изменении разбухания по толщине плиты в зависимости от удельной продолжительности прессования.

По полученным результатам устанавливаем уровни варьирования удельной продолжительности прессования для реализации многофакторного эксперимента на следующих значениях: нижний уровень – 2,0 мин/мм, верхний уровень – 3,6 мин/мм.

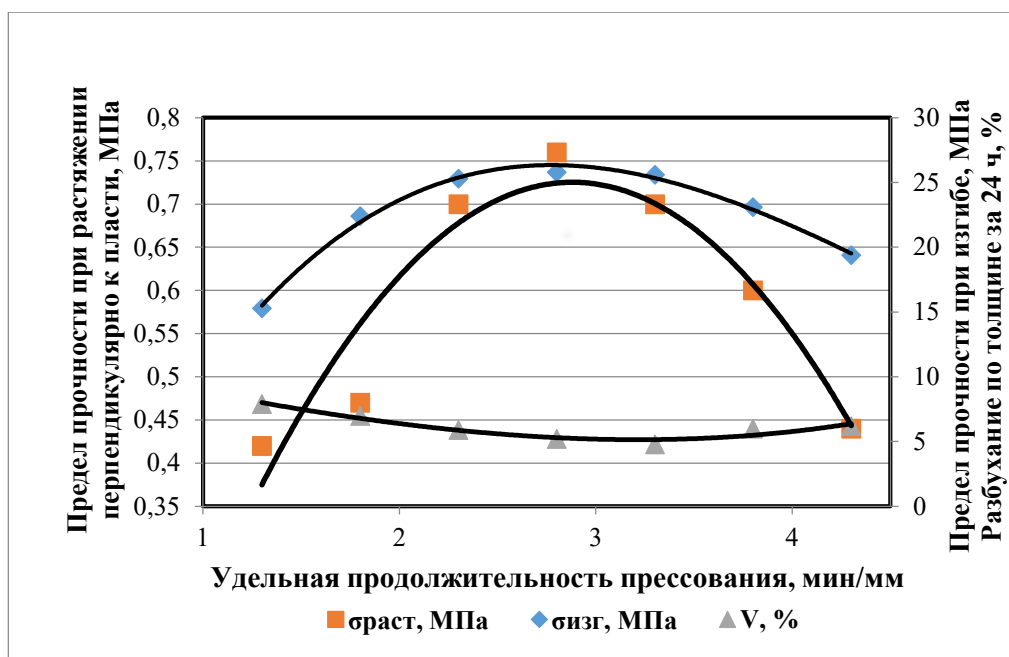


Рисунок 5.3 – Зависимость предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, предела прочности при изгибе и разбухания по толщине от удельной продолжительности прессования

#### 5.4 Результаты исследования влияния режимных параметров горячего прессования на физико-механические свойства плит

Изучение влияния технологических параметров процесса прессования на физико-механические свойства плитных корьевых материалов проводилось с учетом представленных выше результатов однофакторных экспериментов. Оценка влияния исследуемых факторов проводилась по стандартизированной диаграмме Парето, графической интерпретации уравнения регрессии и графикам эффектов факторов и их взаимодействий, приведенных на рисунках 5.4–5.15.

##### 5.4.1 Результаты исследования влияния технологических параметров на прочность при изгибе

В результате математической обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, выражающее зависимость прочности плит при изгибе от режима прессования:

- в нормализованном виде

$$\sigma_{\text{изг}} = 27,2867 + 1,31X_1 + 0,24X_2 + 1,73X_3 - 4,683X_1^2 - 0,833X_2^2 - 2,383X_3^2 - 0,0875X_1X_2 + 0,2375X_1X_3 + 0,3625X_2X_3, \quad (5.1)$$

- в натуральном виде

$$\sigma_{\text{изг}} = -225,973 + 2,011 \cdot T + 0,3174 \cdot W + 18,415 \cdot \tau - 0,005 \cdot T^2 - 0,001 \cdot W^2 - 3,723 \cdot \tau^2 - 0,0001 \cdot T \cdot W + 0,009 \cdot \tau \cdot T + 0,015 \cdot \tau \cdot W. \quad (5.2)$$

Результаты регрессионного анализа для показателя предел прочности плит при изгибе представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Результаты регрессионного анализа для выходного параметра предел прочности при изгибе

Наименование	Значение
Коэффициент детерминации $R^2$ , %	99,8604
Стандартная погрешность	0,229891
Средняя абсолютная погрешность	0,09422
Критерий Дарбина-Уотсона	2,502(P=0,5730)

Коэффициент детерминации представленной модели согласно проведенным расчетам составляет 99,86 %, что говорит о высокой степени корреляции представленной модели с проведенным экспериментом. Анализ значимости коэффициентов регрессии, проведенный по стандартизованным картам Парето (рисунок 5.4) показывает, что наибольшей значимостью обладают температура прессования и удельная продолжительность. Значительно меньшее влияние оказывает влажность пресс-массы. Прочность при изгибе для каждого отдельно рассматриваемого параметра при нахождении двух оставшихся факторов на средних уровнях варьирования имеет значительные отличия, несмотря на то, что все зависимости носят экстремальный характер. Как следует из приведенных графических зависимостей, представленных на рисунках 5.2-5.3, наибольшее влияние на прочность при изгибе оказывает температура

прессования. Изменение температуры от 160 до 195 °С увеличивает прочность на величину более 6 МПа. Аналогичное влияние оказывает удельная продолжительность прессования: изменение удельной продолжительности прессования от 2,0 до 3,0 мин/мм увеличивает прочность на величину около 5 МПа. Это в первую очередь объясняется особенностями формирования структуры материалов из мелкодисперсных древесных частиц. Увеличение температуры или удельной продолжительности прессования при совместном действии оставшихся двух факторов, находящихся на основных уровнях варьирования, до достижения определенного предела приводит к увеличению прочности плиты, которое можно объяснить процессом термохимической деградации коры и образованием соединений готовых вступать в реакцию с лигнином и экстрактивными веществами коры [150]. Дальнейшее увеличение температуры или удельной продолжительности прессования в обоих случаях приводит к деструкции материала в связи с чрезмерно быстрым удалением влаги, которая необходима для размягчения компонентов коры, участвующих в структурообразовании материала: лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы [151].

Наименьшее и наиболее незначительное влияние на прочность при изгибе согласно графика эффектов факторов, рисунок 5.5, оказывает влажность пресс-массы: при достижении влажности 190-195 % прочность плит увеличивается на 1 МПа и при увеличении до 210 % – уменьшается на величину 1,5 МПа.

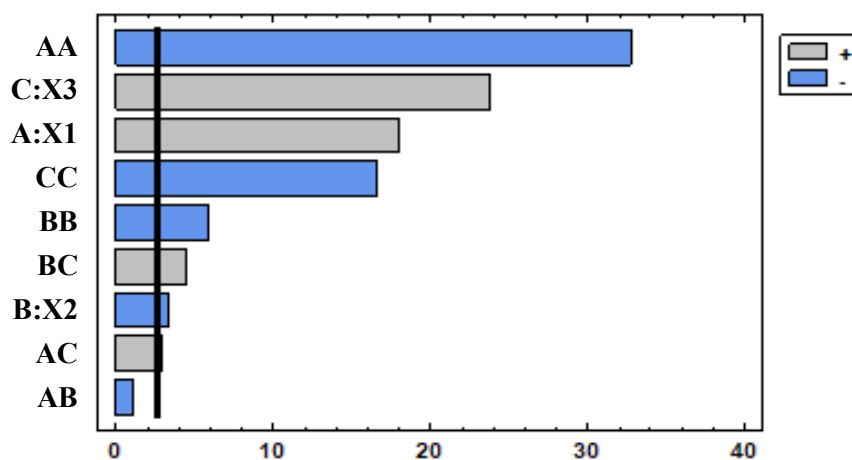


Рисунок 5.4 – Стандартизированная диаграмма Парето при исследовании предела прочности при изгибе



Рисунок 5.5 – График эффектов факторов при исследовании предела прочности при изгибе

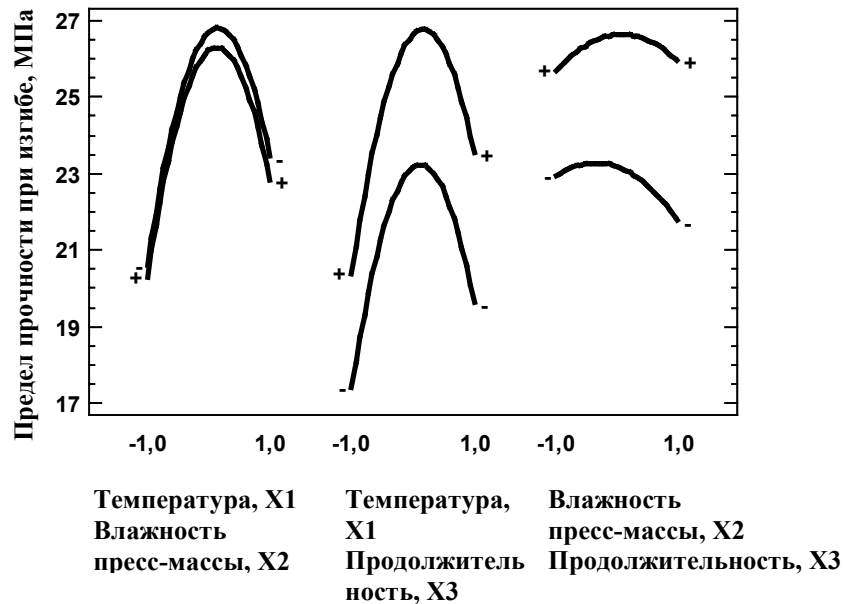


Рисунок 5.6 – График эффектов взаимодействий факторов при исследовании предела прочности при изгибе

При рассмотрении совместного влияния факторов на прочность при изгибе, представленного на рисунке 5.6, можно отметить следующее. При увеличении температуры прессования и нахождении значений фактора влажность пресс-массы на верхнем и нижнем уровне варьирования наблюдаются полностью аналогичные зависимости изменения прочностных свойств материала: при увеличении температуры прессования до 195 °С прочность увеличивается до

27 МПа, при дальнейшем повышении наблюдается снижение прочности. Увеличение температуры прессования при минимальной и максимальной удельной продолжительности выдержки также оказывает значительное влияние на прочностные свойства материала. При этом разница между максимальными показателями прочности материала при варьировании данных факторов на указанных уровнях составляет более 4,0 МПа. При этом следует отметить одинаковый характер закономерности изменения прочности при совместном влиянии рассматриваемых факторов. При рассмотрении влияния влажности пресс-массы и удельной продолжительности прессования на прочность при изгибе следует отметить несколько отличный характер изменения прочности на максимальном и минимальном уровне варьирования удельной продолжительности прессования. С увеличением влажности пресс-массы при минимальной удельной продолжительности прессования прочность плит уменьшается практически на всем диапазоне изменения влажности пресс-массы. В случае максимальной удельной продолжительности прессования и нахождения температуры прессования на основном уровне варьирования увеличение влажности пресс-массы до 200 % приводит к увеличению прочности плиты на величину около 1 МПа с последующим снижением прочности на аналогичную величину. Таким образом, максимальное изменение прочности на всем диапазоне варьирования влажности пресс-массы находится в пределах  $\pm 1$  МПа.

#### 5.4.2 Результаты исследования влияния технологических параметров на прочность при растяжении перпендикулярно к пласти

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить уравнение регрессии, выражающее зависимости прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти от режима прессования:

- в нормализованном виде

$$\sigma_{расм\perp} = 0,747 + 0,06X_1 + 0,017X_2 + 0,05X_3 + 0,001X_1^2 - 0,0839X_2^2 - 0,02889X_3^2 - 0,0188X_1X_2 - 0,01125X_1X_3 + 0,0238X_2X_3, \quad (5.3)$$

- в натуральном виде

$$\sigma_{расч\perp} = -3,708 + 0,007 \cdot T + 0,035 \cdot W + 0,223 \cdot \tau + 0,000001 \cdot T^2 - 0,00009 \cdot W^2 - 0,045 \cdot \tau^2 - 0,00002 \cdot T \cdot W - 0,0005 \cdot \tau \cdot T + 0,0009 \cdot \tau \cdot W. \quad (5.4)$$

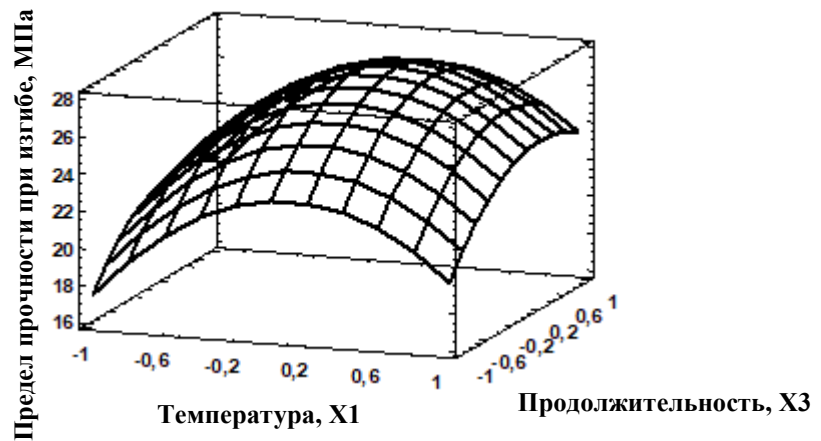
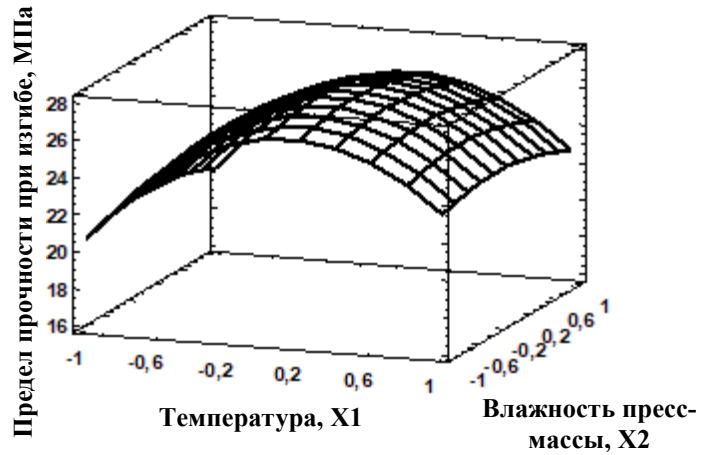


Рисунок 5.7 – Графическая интерпретация уравнения регрессии при исследовании предела прочности при изгибе

Результаты регрессионного анализа для показателя предела прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Результаты регрессионного анализа для выходного параметра предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

Наименование	Значение
Коэффициент детерминации $R^2$ , %	97,5569
Стандартная погрешность	0,02046
Средняя абсолютная погрешность	0,010459
Критерий Дарбина-Уотсона	3,3279(P=0,9846)

Согласно полученным данным коэффициент детерминации представленной модели составляет 97,56 %, наиболее значимым фактором является температура прессования, факторы влажность пресс-массы и удельная продолжительность прессования оказывают примерно одинаковое влияние.

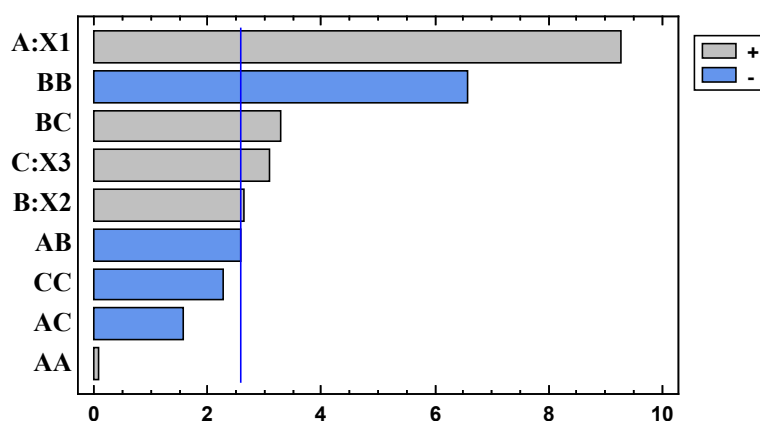


Рисунок 5.8 – Стандартизированная диаграмма Парето при исследовании предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

Оценивая графическую интерпретацию эффектов факторов и эффектов их взаимодействий (рисунок 5.9-5.10) можно отметить следующее: при увеличении температуры прессования на всем диапазоне ее варьирования наблюдается значительное увеличение прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти вне зависимости от уровней варьирования факторов: влажность пресс-массы и удельная продолжительность прессования. При этом при максимальных значениях влажности пресс-массы или удельной продолжительности выдержки

и нахождении третьего фактора на основном уровне варьирования прочность плит при растяжении перпендикулярно к пласти имеет более высокие значения. Зависимости прочности плит от факторов влажность пресс-массы и удельная продолжительность прессования, а также их совместного влияния, носят экстремальный характер с точкой перегиба близкой к основному уровню варьирования факторов.

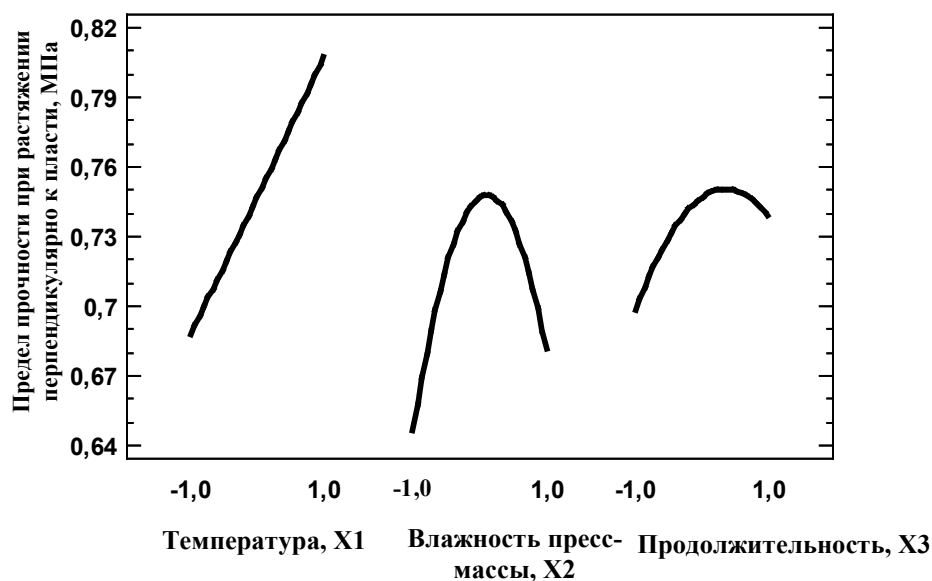


Рисунок 5.9 – График эффектов факторов при исследовании предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

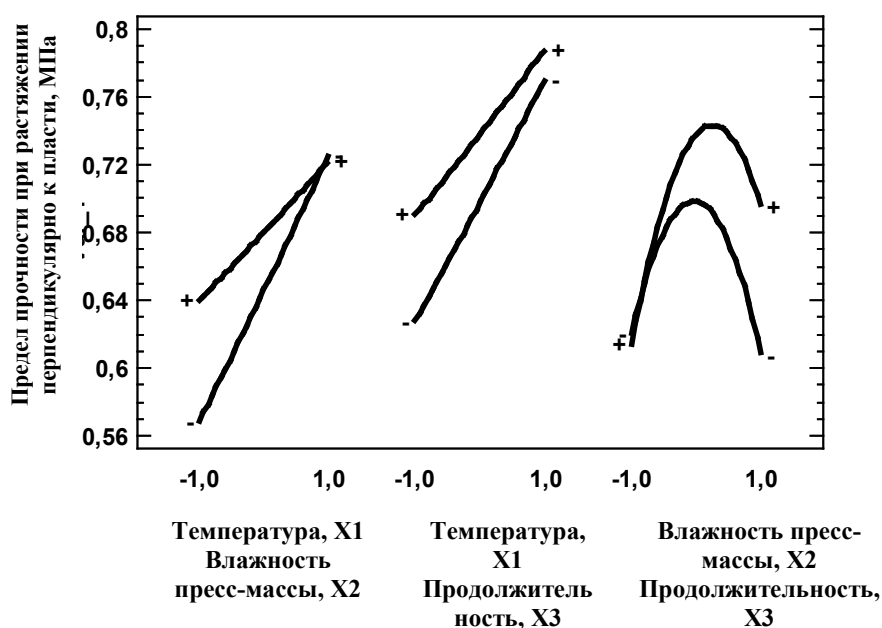


Рисунок 5.10 – График эффектов взаимодействий факторов при исследовании предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти

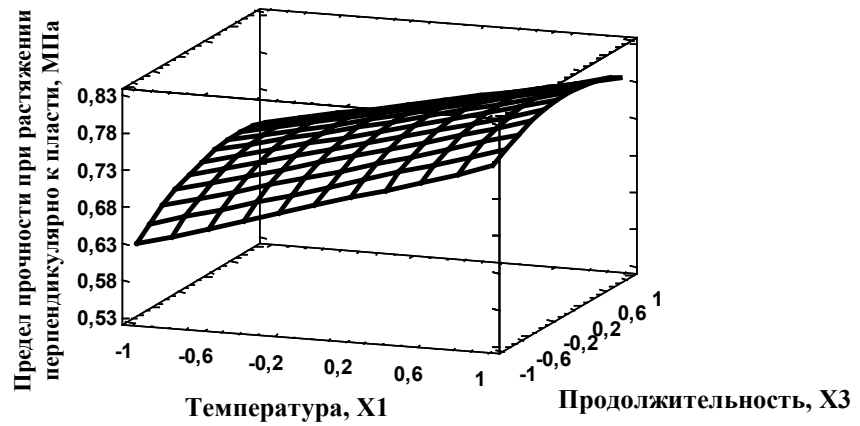
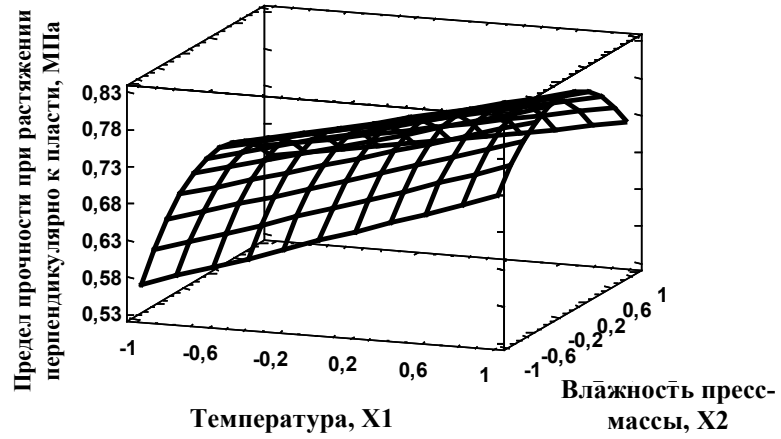


Рисунок 5.11 – Графическая интерпретация уравнения регрессии при исследовании предела прочности при растяжении перпендикулярно к пластине

### 5.4.3 Результаты исследования влияния технологических параметров горячего прессования на разбухание плит по толщине после выдержки в воде в течение 24 ч

Разбухание по толщине после выдержки в воде в течение 24 ч для плитных материалов является одним из наиболее важных показателей, определяющих сферу применения изделий на их основе. Согласно результатам исследований, представленных в главе 4, плиты на основе гидродинамически обработанной корьевой массы обладают повышенными характеристиками водостойкости в сравнении с плитами на основе связующих веществ.

В результате математической обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, выражающее зависимости прочности плит разбухание по толщине за 24 ч от режима прессования:

- в нормализованном виде

$$V=5,662-0,87X_1-0,42X_2-0,48X_3-0,3278X_1^2+0,722X_2^2+0,5222X_3^2-0,075X_1X_2+0,25X_1X_3+0,175X_2X_3, \quad (5.5)$$

- в натуральном виде

$$V= 40,979 + 0,095 \cdot T - 0,307 \cdot W - 8,461 \cdot \tau - 0,0003 \cdot T^2 + 0,0008 \cdot W^2 + 0,816 \cdot \tau^2 - 0,00008 \cdot T \cdot W + 0,010 \cdot \tau \cdot T + 0,007 \cdot \tau \cdot W. \quad (5.6)$$

Результаты регрессионного анализа для показателя разбухания плит по толщине за 24 ч представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Результаты регрессионного анализа для выходного параметра разбухание плит по толщине за 24 ч

Наименование	Значение
Коэффициент детерминации $R^2$ , %	95,2012
Стандартная погрешность	0,49597
Средняя абсолютная погрешность	0,024088
Критерий Дарбина-Уотсона	1,98618(P=0,1973)

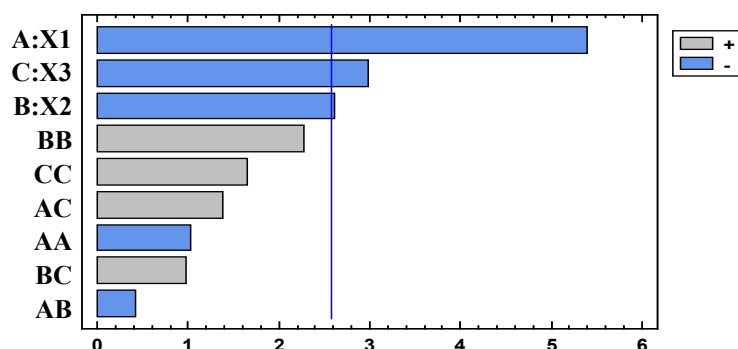


Рисунок 5.12 – Стандартизированная диаграмма Парето при исследовании разбухания плит по толщине



Рисунок 5.13 – График эффектов факторов при исследовании разбухания плит по толщине

Графическое отображение эффектов факторов влияния режима прессования на показатель разбухания плит по толщине (рисунок 5.13) свидетельствует о наличии непосредственного влияния температуры прессования на разбухание плит по толщине. С увеличением температуры прессования разбухание плит уменьшается. Увеличение температуры прессования от 160 до 220 °С приводит к снижению разбухания на величину более 1,5 %. Влажность пресс-массы и удельная продолжительность прессования оказывают на показатель разбухания примерно одинаковое влияние. При этом обе зависимости носят экстремальный характер. С увеличением влажности пресс-массы и удельной продолжительности прессования до величины чуть большей основного уровня варьирования каждого конкретно рассматриваемого фактора происходит снижение разбухания плит по толщине, затем показатель разбухания плит увеличивается. Особенно наглядно это видно при рассмотрении

совместного влияния факторов влажности пресс-массы и удельной продолжительности прессования. Изменение влажности пресс-массы от нижнего уровня варьирования (150 %) до верхнего уровня варьирования (210 %) при удельной продолжительности прессования равной 2,0 мин/мм (нижний уровень) и равной 3,6 мин/мм (верхний уровень) и при нахождении температуры прессования на основном уровне (190 °С) носит экстремальный характер с точкой перегиба (минимальным значением показателя разбухания) в диапазоне влажности 190-195 %. Во всех остальных случаях зависимости носят практически линейный характер. Требуется также отметить, что при нахождении одного из трех варьируемых режимных параметров процесса прессования на нижнем уровне варьирования показатель разбухания плит по толщине всегда имеет более высокие значения, чем в случае нахождении данного фактора на верхнем уровне варьирования. При этом в случае рассмотрения совместного влияния температуры прессования и влажности пресс-массы, влажности пресс-массы и удельной продолжительности прессования (рисунок 5.14) диапазон изменения показателя разбухания плиты имеет практически неизменное значение, а при рассмотрении совместного влияния факторов температуры прессования и удельной продолжительности изменение показателя разбухания варьируется на величину от 1,6 % до 0,5 %.

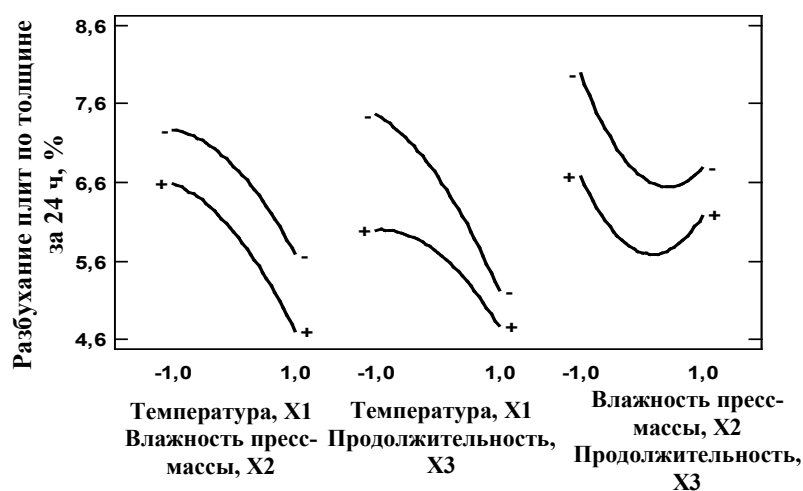


Рисунок 5.14 – График эффектов взаимодействий факторов при исследовании разбухания плит по толщине

Результаты однокритериальных оптимизаций режимных параметров прессования плит на основе гидродинамически обработанной корьевой пресс-массы, обеспечивающие наилучшие показатели физико-механических свойств плитных материалов, проведенных с использованием программного продукта *STATGRAPHICS Centurion 18* представлены в таблице 5.4.

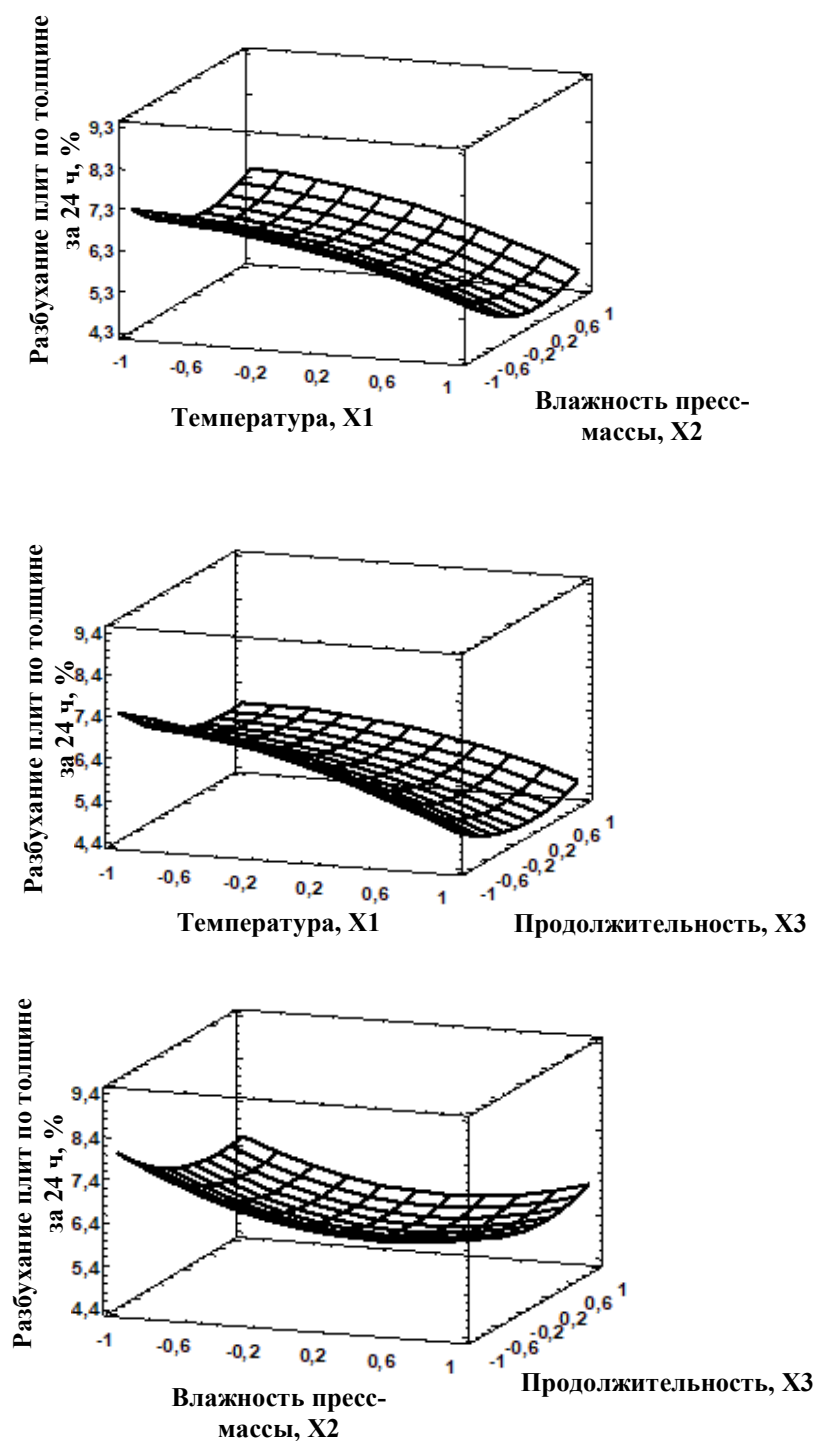


Рисунок 5.15 – Графическая интерпретация уравнения регрессии при исследовании разбухания плит по толщине

Таблица 5.4 – Оптимальные значения исследуемых факторов и параметров оптимизации

Наименование	Экстремум	Нормализованные значения переменных факторов			Натуральные значения переменных факторов			Натуральные значения выходного параметра
		X1	X2	X3	$t$	$W$	$\tau$	
Прочность при изгибе, $\sigma_{изг}$ , МПа	max	0,149	0,0720	0,365	194	177	3,0	27,709
Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти, $\sigma_{раст\perp}$ , МПа	max	1,0	0,0119	0,1563	220	180	2,9	0,809
Разбухание по толщине за 24 ч, $V$ , %	min	1,0	0,3232	0,1662	220	189	2,9	4,365

Определение оптимального режима горячего прессования проводилось с использованием универсального математического программного продукта MathCAD. В качестве целевой функции принимаем показатель прочности при изгибе ( $\sigma_{изг}$  max). Выставляем следующие ограничения:  $\sigma_{раст\perp} \geq 0,80$  МПа;  $V \leq 4,5$  %;  $160 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 220 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $150 \% \leq W \leq 210 \%$ ;  $2 \text{ мин/мм} \leq \tau \leq 3,6 \text{ мин/мм}$ . В результате решения поставленной задачи оптимизации были определены оптимальные натуральные значения варьируемых факторов для процесса горячего прессования плит из корьевой пресс-массы: температура прессования  $T = 195 \text{ }^\circ\text{C}$ ; влажность пресс-массы  $W = 190 \%$ ; удельная продолжительность прессования  $\tau = 3,0 \text{ мин/мм}$ .

Выходные параметры в случае использования результатов проведенной оптимизации принимают следующие аналитические значения: предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{раст\perp} = 0,79$  МПа; предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 27,3$  МПа; разбухание по толщине за 24 ч  $V = 4,5$  %.

Показатели физико-механических свойств корьевых плит без связующих веществ, полученных при оптимальных условиях горячего прессования корьевых плит, имели следующие значения: предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 26,8$  МПа; предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{раст\perp} = 0,77$  МПа; разбухание по толщине за 24 ч  $V = 4,7$  %.

## Выводы по главе 5

1 Процесс структурообразования плитных материалов из гидродинамически обработанной коры хвойных пород древесины и их физико-механические свойства в значительной мере определяются процессами, протекающими при комплексном воздействии основных параметров горячего прессования на поверхности и в центре плиты.

2 Определен оптимальный режим прессования плитного материала на основе коры, обеспечивающий наилучшие физико-механические показатели плит: температура прессования 195 °С, влажность пресс-массы 190 %, удельная продолжительность прессования 3,0 мин/мм.

3 Физико-механические свойства плит, изготовленных в соответствии с разработанным режимом, следующие: плотность 980 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 26,8$  МПа; предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{расм\perp} = 0,77$  МПа; разбухание по толщине за 24 ч  $V = 4,7$  %.

4 Разработанные плиты по своим физико-механическим свойствам сопоставимы со свойствами широко распространенных плит: MDF, древесно-волоконисты и древесно-стружечных плит, поэтому могут иметь аналогичные сферы применения. Кроме того, плиты обладают повышенными показателями водостойкости. Они имеют значительно меньшие значения показателя разбухания, чем у приведенных аналогов. При этом при вымачивании в течение 24 ч в воде с последующим высушиванием плиты сохраняют порядка 75 % от первоначальной прочности, размеры возвращаются к исходным. Это свидетельствует о том, что данные плиты могут эксплуатироваться в жестких температурно-влажностных условиях.

5 Полученные плиты могут применяться в качестве листового отделочного материала, в том числе, в помещениях с повышенной влажностью: ваннные комнаты, бани, кухни; в домостроении, в качестве наружной отделки; в качестве подложки для напольных покрытий и кровельных материалов.

## ГЛАВА 6. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ ИЗ КОРЫ ХВОЙНЫХ

На основе проведенных научных исследований и предложенном ранее способе изготовления корьевых плит [152] был разработан вариант технологической схемы производства плит без связующих из коры хвойных пород древесины. Разработанный технологический процесс включает:

1 Прием, складирование и подготовку отходов окорки хвойных пород древесины.

2 Гидродинамическую обработку частиц коры.

3 Формирование корьевого ковра, форматную резку ковра.

4 Горячее прессование

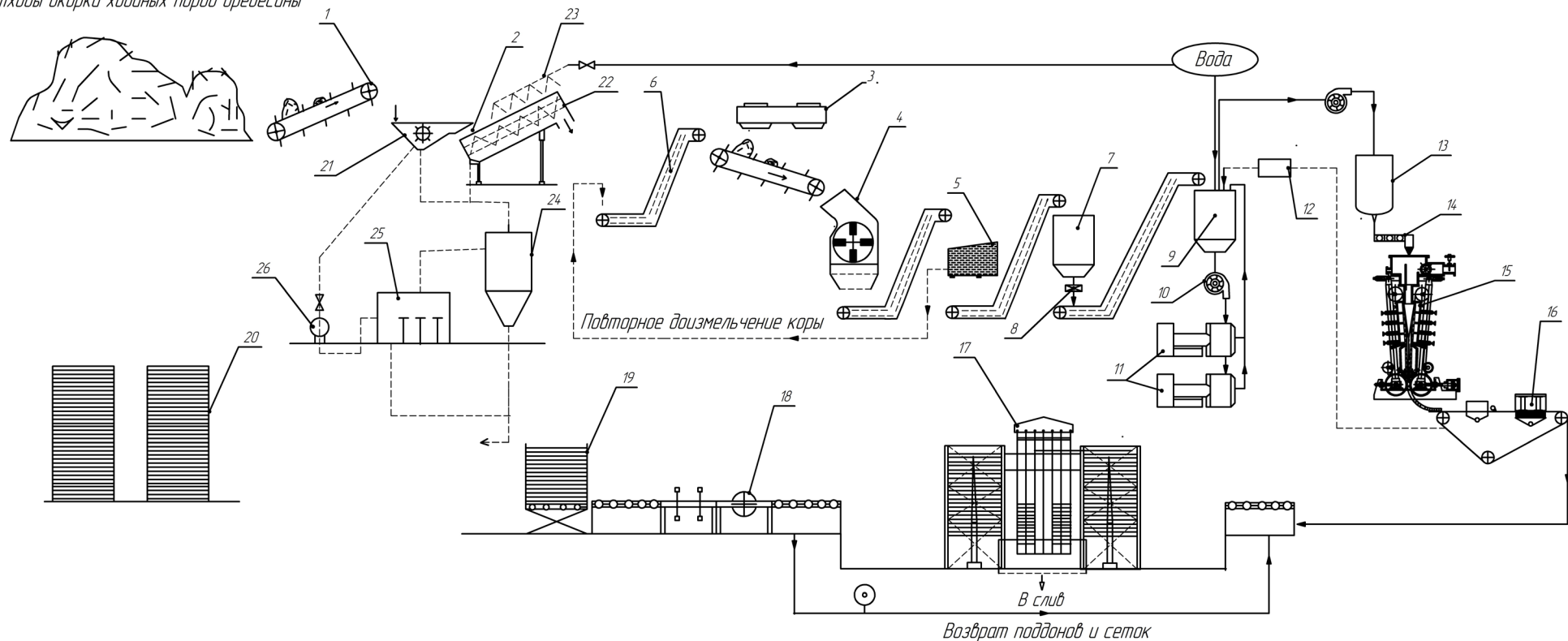
5 Форматную обрезку и складирование готовых плит.

Схема технологического процесса представлена на рисунке 6.1.

Предлагается следующий технологический процесс производства.

Отходы коры хвойных пород скребковым конвейером 1 поступают на участок гидромойки коры 2. В ванну 21 непрерывно подаются отходы окорки откуда с помощью установленного гребенчатого валика погружаются в воду. Ванна сообщается с наклонным лотком 22. Над лотком 22 установлены спрыски 23 для промывания коры. Лоток оснащен винтовым конвейером для выгрузки коры на ленточный конвейер 6. Загрязненная вода проходит через бак-отстойник 24, где удаленные с коры загрязнения отделяются от воды. Затем вода поступает в сборник оборотной воды и отстойник загрязнений 25, откуда отчищенная вода насосом 26 подается в ванну 21. Промытая кора по ленточному конвейеру 6 через металлоуловитель подается в мельницу молоткового типа 4. Измельчение древесной коры хвойных пород на молотковой мельнице производится до размеров фракции 5 мм/дно.

Отходы окорки хвойных пород древесины



1 - скребковый конвейер; 2- гидромойка коры; 3 - металлоуловитель; 4 - молотковая мельница; 5 – вибросито; 6 - ленточный транспортер; 7 - бункер измельченной коры; 8 - дозирующее устройство; 9 - смесительный агрегат; 10 - центробежный насос; 11 - гидродинамический диспергатор; 12 - устройство возврата воды из системы рециркуляции; 13 - бункер подачи пульпы; 14 - шнековый дозатор; 15 - двухсеточная вертикальная отливная машина; 16 - холодный пресс; 17 - горячий пресс; 18 - форматно-обрезной станок; 19 - стопа готовых плит; 20 - хранение готовых плит; 21 – ванна гидромойки; 22 – наклонный лоток; 23 – спрыски; 24 – бак отстойник; 25 – сборник оборотной воды и загрязнений; 26 – насос.

Рисунок 6.1 – Технологическая схема производства плит из коры без связующих веществ

Измельченная кора скребковым конвейером подается на участок механической сортировки 5, где происходит отделение частиц коры нужной фракции. Отсев после сортировки отправляется на повторное доизмельчение в мельницу 4. Просеянная кора по ленточному транспортеру, поступает в бункер сырой коры 7. Влажность коры, измельченной до фракции 5 мм/дно, варьируется от 50 до 85 %.

Через дозирующее устройство бункера 8 кора выгружается на ленточный транспортер, по которому кора поступает в бункер смешивания с водой 9. В технологии предусмотрено использование водопроводной воды и воды из системы рециркуляции. Контроль количества воды ведется расходомером. Согласно проведенным исследованиям, концентрация коры рекомендуется 6,0 % по сухому веществу.

Из бункера центробежным насосом 10 пульпа по трубопроводу направляется в гидродинамический диспергатор 11. Продолжительность обработки обусловлена достижением корьевой массы определенной степени помола. Полученная корьевая масса перекачивается центробежным насосом в бункер подачи пульпы 13. В бункере готовая масса перемешивается для сохранения однородности, так как при продолжительной выдержке без перемешивания корьевая масса расслаивается на воду и корьевые частицы.

Далее шнековым дозатором 14 масса подается в двухсеточную вертикальную отливную машину 15, где происходит обезвоживание и формирование ковra. Формирование ковra выполняется на сетчатых поддонах для удаления парогазовой смеси при горячем прессовании. Преимуществами вертикального формирования ковra является получение симметричной структуры относительно срединной оси формирующей машины, сокращение длины зоны формирования за счет двухстороннего отвода воды, уменьшение габаритов самой установки, сокращение энергоемкости, эксплуатационных затрат, совмещение операции формирования и предварительного прессования в одной формирующей машине [153].

Сформированный ковер поперечной пилой разрезается на полотна и при помощи ускоряющего конвейера поступает для подпрессовки в холодный тактовый пресс 16 с удельным давлением от 1 до 2 МПа. Далее пакет на металлической сетке укладывается на металлический поддон. На верхнюю пластъ пакета также помещается металлическая сетка и поддон. Затем пакеты подаются в загрузочную этажерку горячего пресса, которая осуществляет их загрузку в горячий пресс 17.

Процесс горячего прессования проводится по следующим режимным параметрам: температура плит пресса 190 °С, влажность пресс-массы 190 %, удельная продолжительность прессования 3 мин/мм и удельное давление прессования на стадиях отжим/горячее прессование 2/4,4 МПа соответственно. По окончании процесса горячего прессования происходит выгрузка плит на разгрузочную этажерку и затем отделение плит от поддонов и сеток. По роликовому конвейеру плиты направляются на форматную обрезку 18 после чего укладываются в стопы 19. Далее плиты отправляются на склад готовой продукции.

Разработанная технология позволяет получать плитные материалы без использования связующих веществ из крупнотоннажного отхода лесопромышленного комплекса – древесной коры. Это возможно благодаря использованию метода гидродинамической обработки коры для подготовки к прессованию. Ключевым достоинством является возможность внедряемости технологических решений в существующее предприятие, генерирующее отходы окорки древесины, благодаря чему возможно снижение себестоимости продукции за счет использования отходов производства и сокращения затрат на транспортировку сырья.

### **Оценка экономической эффективности**

Объем выпускаемой продукции определяется по производственной мощности цеха. Это обоснованный годовой выпуск, приведенный к определенному виду продукции. Производственная мощность цеха определяется

по головному оборудованию. При производстве древесных плит головным оборудованием, определяющим темп работы остального технологического оборудования, является гидравлический горячий пресс. Для разработанной технологии плит без связующих веществ из коры хвойных также головным оборудованием будет являться пресс горячего прессования.

Производительность многоэтажного пресса, м<sup>3</sup> обрезных шлифованных плит в час, вычисляется по формуле

$$P_{\text{ч}} = \frac{60 \cdot K \cdot n \cdot S \cdot b \cdot l}{\tau}, \quad (6.1)$$

где  $K$  – коэффициент использования рабочего и машинного времени главного конвейера,  $K$  изменяется от 0,85 до 0,95. Принимаем 0,95;

$n$  – количество рабочих этажей пресса. Принимаем 22 шт.;

$\tau_{\text{ц}}$  – продолжительность цикла горячего прессования, мин.

$S, b, l$  – толщина, ширина и длина обрезанной шлифованной плиты в м.

$V$  м<sup>3</sup> обрезных шлифованных плит в год, по формуле

$$P_{\text{год}} = P_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}, \quad (6.2)$$

где  $P_{\text{ч}}$  – производительность многоэтажного пресса, м<sup>3</sup>/ч;

$T_{\text{год}}$  – годовой фонд работы многоэтажного пресса, ч. Принимаем 7440 ч.

При определении эффективного фонда рабочего времени принимаем следующие условия: цех по производству плит без связующих работает из коры хвойных пород работает без выходных и праздничных дней, количество дней необходимых на ремонт технологического оборудования определяется в соответствии с [154]. Результаты расчетов сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Расчет фонда эффективного времени основного технологического оборудования

Наименование показателей	План
Календарный фонд времени, день	365
Нерабочие дни:	-
Праздничные	-
Выходные	-
капитальный ремонт	20
текущий ремонт и осмотры	35
Итого нерабочих дней	55
Эффективный фонд времени, день	310
Сменность работы, смена	3
Номинальная продолжительность смены, ч	8
Внутрисменные плановые остановки, ч	-
Средняя продолжительность смены, ч	8
Фонд эффективного времени, ч	7440

Для расчетов была принята производительность 26,4 м<sup>3</sup> в сутки, размеры готовых плит – 2140×1220×4 мм. Значения производственно-технических показателей сведены в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 - Производственно – технические показатели

Наименование показателей	Величина показателя
Размеры готовых плит, мм:	
длина	2140
ширина	1220
толщина	4
Площадь одной плиты, м <sup>2</sup>	2,61
Объем одной плиты, м <sup>3</sup>	0,010
Количество плит в 1 м <sup>3</sup> , шт.	100
Площадь плит в 1 м <sup>3</sup> , м <sup>2</sup>	261
Плотность готовых плит, кг/ м <sup>3</sup>	1000
Вес одной плиты, кг	10
Нормативное время прессования, мин/мм	3
Коэффициент использования рабочего времени прессовой установки	0,95
Количество этажей горячего пресса, шт.	22
Производительность, м <sup>3</sup> :	
в час	1,1
в сутки	26,4
в год	8184

План производственных расходов предусматривал разработку калькуляции себестоимости плит, изготовленных из гидродинамически обработанной коры хвойных без связующих веществ. Себестоимость продукции формировалась за счет следующих статей затрат:

- затраты на сырье и материалы;
- расходы на энергообеспечение технологических процессов.

В рамках планирования были рассчитаны затраты на производственный объем, а также удельные затраты на 1 м<sup>3</sup> готовой продукции. Итоговые данные по калькуляции себестоимости плит без связующих веществ представлены в таблице 6.3.

Расчет себестоимости плитного материала из коры хвойных по разрабатываемой технологии основывается на условии размещения данной технологии на территории уже существующего деревообрабатывающего предприятия с целью минимизации затрат на логистику сырья (коры).

Основной статьей затрат при расчете себестоимости продукции являются расходы на электроэнергию и составляют 56064,9 тыс. руб. на годовой выпуск продукции; амортизация основных фондов составляет 5147,7 тыс. руб.

Необходимое количество персонала для реализации разрабатываемой технологии составит 38 человек. Годовой фонд оплаты труда составит 18240 тыс. руб.

По результатам расчета себестоимость 1 м<sup>3</sup> плит из коры хвойных без связующих веществ составила 12,44 тыс. руб. При розничной цене продажи равной 25000 руб./ м<sup>3</sup>, прибыль предприятия с учетом уплаты налога на прибыль, составляющего 25 %, составит 77086,8 тыс. руб.

Проведенные расчеты по разным статьям и составленная калькуляция плановой себестоимости производства плит без связующих веществ из коры хвойных свидетельствует об экономической эффективности данной технологии.

Таблица 6.3 – Калькуляция себестоимости продукции

Показатели	Единица измерения	Расход на 1 м <sup>3</sup>	Годовая потребность	Тариф, руб.	Показатели, тыс. руб.		
					На весь выпуск	на 1 м <sup>3</sup>	%
Сырье (кора сосновая)	м <sup>3</sup>	2,3	18823,2	250,0	4705,8	0,57	4,60
Вода	м <sup>3</sup>	11,3	92479,2	35	3236,8	0,39	3,20
Электроэнергия	кВт	1024	8380,4	6,69	56064,9	6,85	55,06
Расход тепловой энергии	ГДж	0,55	4501,2	450	2025,5	0,25	2,00
Фонд заработной платы	-	-	-	-	18240,0	2,23	17,93
Начисления на оплату труда	-	-	-	-	4012,8	0,49	3,92
Амортизационные отчисления	-	-	-	-	5147,7	0,63	5,10
Прочие расходы	-	-	-	-	8384,1	1,02	8,19
Общие затраты	-	-	-	-	101817,6	12,44	100,00

## **Выводы по главе 6**

1 Разработана технологическая схема производства плитных материалов без связующих веществ основанная на предварительной подготовке коры к горячему прессованию в гидродинамическом диспергаторе. Технологические решения, разработанные на основании исследований, приведенных в данной работе, защищены патентом (Приложение А), включены в план развития предприятия ООО «БИОЛЕСПРОМ» (Вологодская обл., с. Верховажье) и будут использованы для внедрения в производство на ООО «Демьяновский завод ДВП» (Кировская обл., пос. Демьяново).

2 Проведена оценка технико-экономической эффективности производства плитных материалов без связующих веществ из гидродинамически обработанной коры хвойных. При производительности 8184 м<sup>3</sup> себестоимость 1 м<sup>3</sup> плит составит 12,44 тыс. руб., прибыль - 77086,8 тыс. руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментально установлено, что при обработке коры сосны в гидродинамическом диспергаторе существенно изменяется фракционный состав пресс-массы коры с образованием большого количества мелкодисперсной фракции, вследствие воздействия на них гидродинамических и кавитационных сил и эффектов. Мелкодисперсная фракции с размером менее 20 мкм обеспечивает аутогезионное взаимодействие между частицами коры при формировании структуры плитного материала без связующих.

2. В ходе проведения многофакторного эксперимента изучены закономерности влияния параметров гидродинамической обработки коры сосны на свойства плитных материалов без связующих веществ. Установленные оптимальные параметры гидродинамической обработки коры хвойных пород: продолжительность обработки – 8 мин; концентрация частиц коры 6 %.

3. Получены оптимальные параметры горячего прессования плит из гидродинамически обработанной коры сосны без связующих: температура прессования – 195 °С; влажность пресс-массы коры – 190 %; удельная продолжительность прессования – 2,9 м/мм. Свойства плит без связующих из коры при разработанных параметрах горячего прессования составили: прочность при изгибе – 26,8 МПа; прочность при растяжении перпендикулярно к пласти – 0,77 МПа; плотность - 980 кг/м<sup>3</sup>; разбухание по толщине за 24 ч – 4,7 %.

4. Разработана технологическая схема производства плит без связующих основанная на предварительной подготовке коры к горячему прессованию в гидродинамическом диспергаторе.

5. Оценка технико-экономической эффективности производства плит из гидродинамически обработанной коры хвойных пород без связующих показала, что себестоимость 1 м<sup>3</sup> плит из коры хвойных без связующих веществ составляет 12,44 тыс. руб., что существенно меньше стоимости представленных на рынке строительных материалов аналогов. С учетом розничной цены продажи

равной 25000 руб./ м<sup>3</sup>, прибыль предприятия с учетом уплаты налога на прибыль, составляющего 25 %, составит 77086,8 тыс. руб.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Lehmann, W.F. Properties of structural particleboards from Douglas-fir forest residues / W. F. Lehmann, R. L. Geimer // Forest Product J. – 1974. – № 24. – P. 17-25.
2. Effect of pine (*Pinus sylvestris*) bark dust on particleboard thickness swelling and internal bond / Medved, S. Tudor, E. M., Barbu, M. C [et al.]. // Drv. Ind. – 2019. – Т. 70. – P. 141-147.
3. Muszynski, Z. Investigation on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland / Z. Muszynski,; J. D. McNatt // Forest Products Journal. – 1984. № 34. – P. 28-38.
4. Лазарева, Л. И. Использование коры при получении древесноволокнистых материалов / Л. И. Лазарева, Н. Г. Чистова, С. О. Медведев // Химия растительного сырья. – 2013. – № 1. – С. 235-238.
5. Рибий, П. В. Исследование свойств изоляционных ДВП с добавлением коры хвойных пород деревьев / П. В. Рибий, Н. А. Петрушева // Инновации в химическом комплексе: тенденции и перспективы развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 25–26 апреля 2018 г.). – Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2019. – С. 103-106.
6. Утилизация коры сосны с получением древесного пластика без связующего / А. С. Ершова, А. И. Змеева, А. В. Шраер [и др.] // Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности : материалы VII Всерос. отрасл. научн.-практ. конф., (Пермь, 22–23 апр. 2019 г.). – Пермь : ФГБОУ ВО «УГЛТУ», ФГБОУ ВО «ПНИПУ», 2019. – С. 53-56.
7. Древесные пластики без связующих веществ с добавлением коры сосны / А. С. Ершова, А. В. Артемов, А. В. Савиновских, В. Г. Бурындин // Актуальные проблемы науки о полимерах : сборник трудов Всерос. научн. конф.

(с междунар. участием) преподавателей и студентов вузов, (Казань, 21–22 апр. 2020 г.). – Казань : ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2020. – С. 113-114.

8. Трошин, Е. Г. Исследование возможности сокращения продолжительности прессования лигноуглеводных пластиков из сосновой коры / Е. Г. Трошин // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. / Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Уральский лесотехнический институт им. Ленинского комсомола. – Свердловск : УЛТИ, 1980. – Вып. VII. – С. 152-157.

9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – 2023. – URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/) (дата обращения: 2.11.2023).

10. Новости ЛПК [Электронный ресурс] // ЛЕСПРОМ информ. Журнал профессионалов ЛПК. – 2025. – URL: <https://lesprominform.ru/news.html?id=24123> (дата обращения: 10.11.2023).

11. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор) / В. В. Володин, А. А. Шубаков, С. О. Володина [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23, № 5. – С. 611-632.

12. Переработка древесной коры в угольные брикеты высокой прочности / Д. В. Тунцев, С. В. Китаев, Р. Г. Сафин [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 78-85.

13. Гирс, Г. И. Физиологические аспекты устойчивости хвойных растений к огневым повреждениям / Г. И. Гирс // Проблемы лесоведения Сибири. – Москва: Наука. – 1977. – С. 148-159.

14. Получение жидкого топлива из кородревесных отходов длительного срока хранения методом гидротермального ожижения / Ю. В. Куликова, Н. И. Орлов, С. А. Сухих [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 1 (111). – С. 117-127.

15. Цывин, М. М. Использование древесной коры / М. М. Цывин. – Москва : Лесная промышленность. – 1973. – 96 с.
16. Комплексная химическая переработка древесины : учебное пособие / Р. Г. Алиев, Е. А. Павлова, Э. П. Терентьева [и др.]; СПбГТУРП. – Санкт-Петербург, 2012. – 75 с.
17. Прикот, Н. Г. Физико-механические свойства коры древесных пород / Н. Г. Прикот // Труды Лесотехнической Академии им. С. М. Кирова. – Ленинград, 1938. – № 50. – С. 69-79.
18. Леонтьев, Н. Л. О влажности и объемном весе древесной коры / Н. Л. Леонтьев // Вопросы стандартизации продукции лесозаготовок и испытаний древесины / редактор А. М. Макаров. – Химки, 1967. – № 84 – с. 125.
19. Побединский, В. В. Современные роторные окорочные станки : учеб. пособие / В. В. Побединский ; Минобрнауки России, УГЛТУ. – Екатеринбург, 2018. – 143 с.
20. Симонов, М. Н. Теоретические основы механической окорки лесоматериалов и оптимизация параметров гамм, роторных окорочных станков: дис. ... др. техн. наук : 05.21.01 / Симонов Михаил Никитович – Москва : МЛТИ, 1980. – 389 с.
21. Житков, А. В. Утилизация древесной коры. – Москва : Лесная промышленность. – 1985. – 136 с.
22. Романов Н.Т. Использование коры для производства древесно-стружечных плит, – Москва, 1961.
23. Евстигнеев, Э. И. Химия древесины : учебное пособие для студентов специальности 240406 / Э. И. Евстигнеев ; Минобрнауки России, Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургская гос. лесотехническая акад. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та. – 2007. – 147 с.
24. Influence of woody species on the setting of cement and gypsum/ Simatupang M. H., Lange H., Kassim A. [et al.]. // Fibre and particleboards bonded with inorganic binders / ed. by Moslemi A. A. – Madison (WI) : Forest Products Research Society, 1989. – P. 33-42.

25. Федосенко, И. Г. Особенности конструирования плитных материалов из коры сосны на минеральных вяжущих / И. Г. Федосенко, М. И. Дребушевич // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2023. – № 1(264). – С. 187-193.

26. Бакатович, А. А. Фракционный состав измельченной сосновой коры и вид вяжущего компонента как основные факторы, влияющие на коэффициент теплопроводности теплоизоляционных плит / А. А. Бакатович, Н. В. Бакатович, А. Н. Пенкрат // Вестник ПГУ. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – № 8. – С. 38-45.

27. Heebink, B. G. Particleboards from Lodgepole Pine Forest Residue (Research Paper FPL 221) / B. G. Heebink . – Madison, WI, USA: Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1974. – 16 p.

28. Anderson, A. B. Utilization of white fir bark in particleboard / A. B. Anderson, A. Wong, K. T. Wu // Forest Products J. – 1974. – Vol. 24, № 1 – P. 51-54.

29. Valorization of extracted bark for particleboard production: a life-cycle impact assessment / Morandini, M., Bardu, M. C, Vanona, R. [et al.] //Polymers. – 2025. – Т. 17. – №. 7. – С. 9-25.

30. Blanchet, P. Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues / P. Blanchet, A. Cloutier, B. Riedl // Wood Science and Technology. – 2000. – Vol. 34, № 1. – P. 11-19.

31. Particleboards with Partially liquefied bark of different particle sizes / Jiang, W., Adamopoulos, S., Petrič, M. [et al.]. // Drewno. – 2021. – Vol. 64, No. 207. – P. 43-57.

32. Aaron, R. Jr. Bark: A potentially useful by-product / R. Jr. Aaron // J. Inst Wood Sci. – 1973. Vol. 6, № 3. – P. 22-27.

33. Nemli, G. Effects of Mimosa Bark Usage on Some Properties of Particleboard / G. Nemli, G. Çolakoğlu // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. – 2005. – Vol. 29. – P. 227-230.

34. Effects of bark content and particle geometry on the physical and mechanical properties of particleboard made from black spruce and trembling aspen bark / Ngueho Yemele, M. C., Blanchet, P., Cloutier, A. [et al.]. // *Forest Products Journal*. – 2008. – Vol. 58, № 11. – P. 48-56.

35. Якубовский, С. Ф. Особенности микроструктуры отходов сухой окорки сосны как сырья для получения нефтяных сорбентов / С. Ф. Якубовский, Н. В. Ощепкова, Ю. А. Булавка [и др.] // *Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*. – 2011. – № 11. – С. 154-157.

36. Черкасова, А. И. Получение плит из коры со связующим / А. И. Черкасова, А. Г. Жученко, Д. П. Хлюпина // *Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. / Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Уральский лесотехнический институт им. Ленинского комсомола*. – Свердловск, 1980. – Вып. 7. – С. 76-82.

37. Черкасова, А. И. Об оборудовании для измельчения коры в производстве древесностружечных плит / А. И. Черкасова, А. Г. Жученко, Д. П. Хлюпина // *Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. / Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Уральский лесотехнический институт им. Ленинского комсомола*. – Свердловск, 1980. – Вып. 7. – С. 7-16.

38. Баяндин, М. А. О механизме аутогезионного взаимодействия при формировании водостойких плит без использования связующих веществ / М. А. Баяндин // *Решетневские чтения : материалы XXVIII Междунар. науч.-практ. конф, Красноярск, 18–22 ноября 2024 г. – Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2024*. – С. 880-882.

39. Острякова, В. А. Влияние геометрических характеристик наполнителя на свойства древесного композита / В. А. Острякова, В. Н. Ермолин, М. А. Баяндин // *Лесной вестник*. – 2024. – Т. 28, № 1. – С. 139-148.

40. Получение пористых углеродных материалов из древесной коры / Б. Н. Кузнецов, Н. В. Чесноков, И. П. Иванов [и др.] // *Химия твердого топлива*. – 2015. – № 5. – С. 14.

41. Данилов, В. Е. Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной теплозвукоизоляции / В. Е. Данилов, А. М. Айзенштадт // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 2(368). – С. 111-118.
42. Килюшева, Н. В. Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта / Н. В. Килюшева, В. Е. Данилов, А. М. Айзенштадт // Строительные материалы. – 2016. – № 11. – С. 48-50.
43. Gobwald, J. Barbu, B., Petutschnigg, A. [et al.]. Binderless Thermal Insulation Panels Made of Spruce Bark Fibres // Polymers (Basel). – 2021. – Vol. 13, No. 11. – Art. 1799.
44. Яцун, И. В. Исследование физико-механических и теплоизоляционных свойств коревой плиты / И. В. Яцун, А. А. Артемов, С. А. Одинцева // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: тр. XV Междунар. евразийского симпозиума. – 2020. – С. 90-93.
45. Gupta, G. Effects of Pressing Temperature and Particle Size on Bark Board Properties Made from Beetle-Infested Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) Barks / G. Gupta, N. Yan, M. W. Feng // Forest Products Journal. – 2011. – Vol. 61, No. 6. – P. 478-488.
46. Влияние вида сырья на свойства древесных пластиков без добавления связующих / А. С. Ершова, А. В. Артемов, А. В. Савиновских, [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 3(47). – С. 74-80.
47. Структурно-механические свойства гидродинамически активированной древесной массы в аддитивных технологиях / В. Н. Ермолин, М. А. Баяндин, А. В. Намятов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2023. – № 2(392). – С. 121-131.
48. Артемов, А. В. Влияние карбамида на физико-механические свойства пластика на основе сосновых опилок / А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, А. В. Савиновских // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 5. – С. 35-39.

49. Кац, Л. И. Древесноволокнистые плиты типа MDF, полученные по мокрому способу производства / Л. И. Кац, Т. В. Соловьева // Лесной вестник. – 2000. – № 1. – С. 179-181.

50. Каталевская, И. В. Получение сшитой высокогидрофильной натрийкарбоксиметилцеллюлозы / И. В. Каталевская, В. В. Трибунский, М. В. Прокофьева // Химия древесины. – 1987. – № 4. – С. 17-21.

51. Пат. 2252941 С1 Российская Федерация, МПК С08В 11/12, С08Н 5/04. Способ карбоксиметилирования лигноуглеводных материалов : заявл. 10.02.2004: опубл. 27.05.2005 / О. В. Броварова, В. Ю. Беляев, Л. С. Кочева, А. П. Карманов ; патентообладатель Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

52. Колосов, П. В. Модифицирование продуктов карбоксиметилирования, полученных из исходной древесины и обработанной реагентами: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 05.21.03 / Колосов Петр Владимирович. – Красноярск, 2008. – 22 с.

53. Тураев, А. С. Химическое сшивание карбоксиметилцеллюлозы / А. С. Тураев, Ю. Ч. Худайкулов, Ш. Наджимутинов // Химия древесины. – 1990. – № 5. – С. 14-18.

54. Методы получения лигноуглеводных композиций из химически модифицированного растительного сырья / Н. Г. Базарнова, В. И. Маркин, П. В. Колосов [и др.] // Российский химический журнал. – 2011. – Т. 55, № 1. – С. 4-9.

55. Криворотова, А. И. Исследование свойств древесных пластиков из коры хвойных пород древесины, прошедшей экстракцию / А. И. Криворотова, В. М. Ушанова // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 28–29 апреля 2017 г.). – Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – 2017. – С. 149-152.

56. Петри, В. Н. Исследование возможности изготовления ЛУДП с использованием коры / В. Н. Петри, Т. В. Водопьянова, В. А. Шебалова // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. / Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Уральский ордена Трудового

Красного Знамени лесотехнический институт им. Ленинского комсомола. – 1985. – Вып. XII. – С. 132-136.

57. Состояние и перспективы использования древесной коры / З. Пастори, Г. А. Горбачева, В. Г. Санаев [и др.] // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 74-88.

58. Saayman, H.M. Wood adhesives from wattle bark extract / H. M. Saayman, J. A. Oatley // Forest Products Journal. – 1976. № 26. – P. 27-33.

59. Scalbert, A. Antimicrobial properties of tannins / A. Scalbert // Phytochemistry. – 1991. Vol. 39. – P. 3875-3883.

60. Вахнина, Т. Н. Использование отходов окорки для производства древесно-стружечных плит / Т. Н. Вахнина // Тезисы докладов IV Междунар. научной экологической конф. – Краснодар : ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ». – 2015. – С. 355-358.

61. Forss K. Biotechnology in the Forest Industry. Bioconversion of Plant Raw Material by Microorganisms / K. Forss // Proceedings of the 5th Finnish-Soviet Seminar, University of Helsinki, Helsinki. – 1983. – P. 13-21.

62. Черкасов, В. Д. Теоретическое обоснование создания древесных биокомпозитов / В. Д. Черкасов // Вестник Мордовского университета. – 1995. – № 1. – С. 65-68.

63. Биоактивация древесного пресс-сырья активным илом для получения древесного пластика без добавления связующего / Д. О. Грэдинару, А. В. Савиновских, А. В. Артемов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. – 2013. – № 1(44). – С. 126-129.

64. Экологические характеристики прессованных материалов из отходов растительного сырья, обработанных грибом *P. tigrinus* / Д. А. Кадималиев, В. В. Ревин, Н. А. Атыкян [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2006. – № 4. – С. 83-88.

65. Радциг, В. А. Структура и реакционная способность дефектов в механически активированных твердых телах: дис. ... д-ра хим. наук :

специальность 02.00.04 / Радциг Виктор Александрович. – Москва., 1985. – 456 с.

66. Казицин, С. Н. Получение древесных плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц : дис. ... канд. техн. наук: специальность 05.21.05 / Казицин Сергей Николаевич, 2018. – 132 с.

67. Исследование физико-химических свойств древесной массы, активированной гидродинамическим способом / Н. Ю. Демиденко, М. А. Баяндин, А. В. Намятов [и др.] // Химия растительного сырья. – 2023. – № 3. – С. 337-344.

68. Набиева, А. А. Влияние способа размола волокон массы на внешнюю удельную поверхность / А. А. Набиева, Ю. Д. Алашкевич, Е. Е. Нестеров // Химико-лесной комплекс-проблемы и решения: Всерос. научн.-практ. конф. : сб. ст. по материалам конф. (Красноярск, 11-12 апреля 2002 г.). – Красноярск : СибГТУ. – 2002. – Т. 3. – С. 85-89.

69. Пучков, Б. В. Требования к процессу измельчения древесины в производстве плит и соответствие этим требованиям различных способов измельчения / Б. В. Пучков // Лесной вестник. – 2001. – № 2. – С. 148-152.

70. Бастриков, Д. В. Исследование энергоемкости измельчения отходов окорки установкой с ножевым рабочим органом / Д. В. Бастриков, Ю. Н. Власов, С. В. Кучер // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8, № 1(29). – С.

71. Yokoyama, T. Chapter 10 selection of fine grinding mills / T. Yokoyama, Y. Inoue // Handb. Powder Technol. – 2007. – Vol. 12. – P. 487-508.

72. Karinkanta, P. Dry Fine Grinding of Norway Spruce (*Picea Abies*) Wood in Impact-based Fine Grinding Mills / Doctoral dissertation University of Oulu. – 2014. – 112 p.

73. Механоактивация как способ повышения эффективности использования сырья различного генезиса в строительном материаловедении / Н. И. Алфимова, В. В. Калатози, С. В. Карацупа [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 6. – С. 85-89.

74. Беушева, О. С. Математическая модель процесса взрывного автогидролиза древесины лиственницы, предварительно обработанной пероксидом водорода / О. С. Беушева, Н. П. Мусько, М. М. Чемерис // Ползуновский вестник. – 2008. – № 3. – С. 292-294.

75. Pat. № 1824221, USA. Process and apparatus for disintegration of fibrous material / Current Assignee: Masonite Corp.; 22.09.1931.

76. Pat. №2080078, USA. Molding composition and process of making same / Current Assignee: Masonite Corp.; 11. 05. 1937.

77. Ефремов, А. А. Комплексная переработка древесных отходов с использованием метода взрывного автогидролиза / А. А. Ефремов, И. В. Кротова // Химия растительного сырья. – 1999. – № 2. – С. 19-39.

78. A. A. Efremov, B. N. Kuznetsov, S. A. Kuznetsova [et al.] Composition of the water-soluble products from the thermocatalytic activation of aspen wood // Chemistry of Natural Compounds. – 1995. – Vol. 31, No. 6. – P. 746-752.

79. Мусько, Н. П. Плитные материалы на основе модифицированной коры сосны / Н. П. Мусько, О. С. Беушева, С. С. Саушкина // Ползуновский вестник. – 2015. – № 2. – С. 136-138.

80. Беушева, О. С. Ресурсосберегающая технология переработки отходов древесины лиственницы : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Беушева Ольга Сергеевна. – Барнаул, 2006. – 20 с.

81. Скурыдин, Ю. Г. Строение и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Скурыдин Юрий Геннадьевич. – Барнаул, 2009. – 147 с.

82. Богоявленский, И. И. Технология бумаги, Т.1 / И. И. Богоявленский. – М.: Гослесбумиздат. – 1946. – 172 с.

83. Влияние некоторых конструктивных параметров ножевой гарнитуры дисковой мельницы на характер помола целлюлозы / Б. П. Матвеев, Л. Н. Антонович, Ю. Г. Бутко [и др.] // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1971. – № 27. – С. 9-11.

84. Чистова, Н. Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит : дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.03 / Чистова Наталья Геральдовна. – Красноярск, 2010. – 461 с.
85. Хинчин, Я. Г. О значении физико-химических факторов в производстве бумаги / Я. Г. Хинчин // Бумажная промышленность. – Москва., 1941. – № 1. – С. 8-12.
86. Strachan, J. Fundamental Concepts of Beating Process Text. / J. Strachan, M. Chem // Paper Maker. 1946. – № 2. – P. 28 – 35.
87. Алашкевич, Ю. Д. Оборудование для подготовки бумажной массы : курс лекций для студентов специальностей 170404, 030528, 260304 всех форм обучения / Ю. Д. Алашкевич. – Красноярск, 2000. – 248 с.
88. Алашкевич, Ю. Д. Исследование гидродинамических явлений в процессе размола волокон в ножевых и размалывающих машинах : дис. ... канд. техн. наук: 05.06.03 / Алашкевич Юрий Давыдович. – Ленинград, 1970. – 143 с.
89. Легоцкий, С. С. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы / С. С. Легоцкий, В. Н. Гончаров. – М.: Лесная промышленность. – 1990. – 224 с.
90. Марченко, Р. А. Сравнительная оценка показателей размола при ножевом и безножевом способах / Р. А. Марченко, Н. С. Решетова, Ю. Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. – 2012. – № 1. – С. 191 – 198.
91. Пашинский, В. Ф. Машины для размола волокнистой массы / В. Ф. Пашинский. - М.: Лесная промышленность. –1972. – 160 с.
92. Гончаров, В. Н. Машины для роспуска и безножевого размола бумажной массы / В. Н. Гончаров, А. А. Гаузе, В. П. Аликин. - Ленинград: Лесотехническая академия им. С. М. Кирова, 1979. – 106 с.
93. Уханова, Г. В. Изменение реологических свойств древесины в процессе гидротермической обработки при производстве древесноволокнистых плит / Г. В. Уханова, П. Х. Ласкеев, И. В. Липцев // Сборник трудов ВНИИДрев. – 1973. – Вып. 6. – С. 15-19.

94. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М. А. Промтов. – М.: Машиностроение-1. – 2001. – 260 с.
95. Федоткин, И.М. Использование кавитации в технологических процессах / И. М. Федоткин, А. Ф. Немчин. – Киев.: Высшая школа, 1984. – 68 с.
96. Федоткин, И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч. 2. / И. М. Федоткин, И. С. Гулый. – Киев : АО «ОКО». – 2000. – 898 с.
97. Долинский, А.А. Теплофизические процессы в эмульсиях (получение, использование, утилизация) / А. А. Долинский, А. М. Павленко, Б. И. Басок. – Киев: Наукова думка. – 2005. – 264 с.
98. Кавитация как экологический способ переработки отходов растительного сырья / И. Б. Катраков, Н. Г. Базарнова, В. И. Маркин [и др.] // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : материалы V Всерос. конф.с междунар. участием (Барнаул, 24 – 26 апреля 2012 г.). – Барнаул: Издательство ФГБОУ ВО «АлтГУ». – 2012. – С. 466.
99. Катраков, И. Б. Получение пресс-масс и плитных материалов на основе кавитированного растительного сырья / И. Б. Катраков, В. И. Маркин, Н. Г. Базарнова // Известия ФГБОУ ВО «АлтГУ». – 2014. – № 3-1(83). – С. 204-208.
100. Баяндин, М. А. Влияние механоактивации на аутогезионные свойства древесины / М. А. Баяндин, В. Н. Ермолин, С. Г. Елисеев // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – Т. 31. – № 1-2. – С. 159-163.
101. Влияние мелкодисперсных фракций на формирование свойств древесных плит без связующего / М. А. Баяндин, В. Н. Ермолин, С. Н. Казицин [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – 2015. – Т. 33, № 3-4. – С. 182-185.
102. Лотова, Л.И. Анатомия коры хвойных / Л. И. Лотова. – М.: Наука. – 1987. – 149 с.
103. Азаров В. И. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов / В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия, 1999. – 628 с.

104. Еремин, В. М. Анатомическая структура коры хвойных древесных пород Дальнего Востока: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05 / Еремин Виктор Михайлович. – Воронеж, 1971 – 22 с.
105. Еремин, В. М. Перидерма сосновых / В. М. Еремин. – М., 1983. – 15 с. – Деп. в ВИНТИ 15.11.83, № 6081-83.
106. Рязанова, Т. В. Комплексная переработка коры хвойных пород с получением дубильных экстрактов с заданными свойствами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03 / Рязанова Татьяна Васильевна. – Красноярск, 1999. – 498 с.
107. Кононов, Г. Н. Химия древесины и ее основных компонентов : учебное пособие для вузов / Г. Н. Кононов. – М.: Московский государственный университет леса, 1999. – 247 с.
108. Patel R. N. Bark anatomy of radiata pine, corsican pine, and Douglas fir grown in New Zealand / R. N. Patel // *New Zealand journal of botany*. – 1975. – Vol. 13, No. 2. – P. 149-167.
109. Химия древесины / Б. Л. Браунинг, Э. Х. Иммергут, К. Шурх [и др.] ; под ред. Б. Л. Браунинга ; сокр. пер. с англ. А. В. Оболенской, В. П. Щеголева. – М.: Лесная промышленность. – 1967. – 415 с.
110. Leite, C. Cork-containing barks—A review / C. Leite, H. Pereira // *Frontiers in Materials*. – 2017. – Vol. 3. – P. 63.
111. Matsumae T., Horito M., Kurushima N. [et al.]. Development of bark-based adhesives for plywood: utilization of flavonoid compounds from bark and wood. II // *Journal of Wood Science*. – 2019. – Vol. 65. – No. 1. – P. 9.
112. Nair, S. S. Bark derived submicron-sized and nano-sized cellulose fibers: from industrial waste to high performance materials / S. S. Nair, N. Yan // *Carbohydrate polymers*. – 2015. – Vol. 134. – P. 258-266.
113. Солечник, Н. Я. Производство древесноволокнистых плит / Н. Я. Солечник. М.: Гослесбумиздат. – 1963. – 337 с.
114. Ласкеев П. Х. Производство древесной массы / П. Х. Ласкеев. – Л.: Лесная промышленность. – 1967. – 581 с.

115. Эскин, В. Д. Конструкционные плиты из гидродинамически активированной коры сосны (*Pinus sylvestris*) без связующих веществ / В. Д. Эскин, В. Н. Ермолин, А. И. Криворотова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2024. – № 5(401). – С. 175-187.
116. Jaume, G. *Zellstoff und Papier* / Jaume, G. – 1961, Vol. 11, pp. 432-438.
117. ГОСТ 19592-80 Плиты древесноволокнистые. Методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1980. – 19 с.
118. ГОСТ 10636-2018. Плиты древесно-стружечные и древесноволокнистые. Метод определения предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты. М.: Стандартинформ. – 2018. – 8 с.
119. Баженов, В. А. Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков: учебник для техникумов / В. А. Баженов, Е. И. Карасев, Е. Д. Мерсов. – М.: Лесная промышленность. – 1980. – 360 с.
120. Денисов, О. Б. Технологические основы прессования древесных композиционных материалов : учебное пособие / О. Б. Денисов, П. П. Анисов, А. И. Кондрючий. – Красноярск: СибГТУ. – 1994. – 248 с.
121. Катраков, И. Б. Кавитированная древесина с синтетическими бифункциональными связующими – новый способ получения безэмиссионных плитных материалов / И. Б. Катраков, В. И. Маркин, К. С. Проскурин // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : материалы VI Всерос. конф. с междунар. участием. – Барнаул, 2017. – С. 340.
122. Мельков, В. Э. Особенности изготовления древесно-клеявого композита для строительства / В. Э. Мельков // Вестник магистратуры. – 2022. – № 9 (132). – С. 7-11.
123. Долматов, С. Н. Исследование прочности и теплопроводности древесно-минерального композита, изготовленного из механоактивированного древесного сырья / С. Н. Долматов, Н. В. Смертин // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 3 (94). – С. 170-184.
124. Гудков, Д. Н. Получение строительного теплоизоляционного материала из отходов деревообработки / Д. Н. Гудков, О. Г. Дубровская, В. А.

Кулагин //International Journal of Advanced Studies. – 2018. – Т. 8. – №. 4. – С. 55-65.

125. Влияние продолжительности гидродинамической обработки коры на свойства получаемой пресс-массы / В. Д. Эскин, А. И. Криворотова, Р. Р. Литвин [и др.] // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы X Всерос. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 21–23 мая 2025 г.). – Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», 2025. – С. 569-571.

126. Алашкевич, Ю. Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... докт. техн. наук : 05.21.03 / Алашкевич Юрий Давыдович - Красноярск, 1987. - 361 с.

127. Влияние процесса размола недревесного сырья на отдельные бумагообразующие свойства волокнистого полуфабриката / А. А. Карелина, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Кожухов [и др.] // Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения : Материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. учёных и специалистов ЦБП (Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2024 г. ). – Санкт-Петербург: Высшая школа технологи и энергетики СПбГУПТД. – 2024. – С. 44-48.

128. Фенгел, Д. Древесина: химия, ультраструктура, реакции / Д. Фенгел ; пер. с англ. А. В. Оболенской, З. П. Ельницкой ; под ред. А. А. Леоновича. – М.: Лесная промышленность. –1988. — 511 с.

129. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б. Н. Уголев. – Москва.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

130. Howard, E. T. Bark structure of the southern pines / E. T. Howard // Wood Science. – 1971, Vol. 3. – P. 136-148.

131. Howard, E. T. Bark structure of southern upland oaks / E. T. Howard // Wood and Fiber. – 1977, Vol. 9. – P. 172-183.

132. Беседина, И. Н. Получение углеродных материалов из отходов сухой окорки лиственницы сибирской. 1. Особенности отходов сухой окорки как сырья для получения углеродных материалов / И. Н. Беседина, Ю. Я. Симкин, В. С. Петров // Химия растительного сырья. – 2002. – № 2. – С. 63-66.

133. Зырянов, М. А. Получение полуфабрикатов в одну ступень размола для производства древесноволокнистых плит мокрым способом : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / Зырянов Михаил Алексеевич. – Красноярск, 2012. – 21 с.
134. Симкин, Ю. Я. Биотопливо из отходов сухой окорки лиственницы / Ю. Я. Симкин, С. А. Войнаш // Пром-Инжиниринг : труды VI Всерос.науч.-техн. конф. (Москва, Челябинск, Новочеркасск, Волгоград, Сочи, 18–22 мая 2020 г.). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. – 2020. – С. 197-202.
135. Эскин, В. Д. Влияние мелкодисперсной фракции на основные свойства пресс-массы и плитного материала без связующих веществ из коры *Pinus sylvestris* / В. Д. Эскин, А. И. Криворотова, В. Н. Ермолин // Хвойные бореальной зоны. – 2025. – Т. 43, № 1. – С. 78-84.
136. Дулькин, Д. А. Изменение надмолекулярной структуры волокнистых полуфабрикатов из древесины в процессе размола / Д. А. Дулькин, Л. А. Блинова, О. Н. Блинусова // Химия растительного сырья. – 2007. – № 1. – С. 75-83
137. He, M., Yang, G., Chen, J. [et al.]. / Production and Characterization of Cellulose Nanofibrils from Different Chemical and Mechanical Pulps // *Journal of Wood Chemistry and Technology*. – 2018, P. 149-158.
138. Алашкевич, Ю. Д. Взаимосвязь отдельных бумагообразующих свойств и коэффициента динамической вязкости при размоле волокнистой массы / Ю. Д. Алашкевич, А. А. Фомкина, А. А. Карелина // Химия растительного сырья. – 2022. – № 4. – С. 371-376.
139. Технологические процессы и оборудование ЦБП : учеб. пособие. Ч. 1 / В. К. Дубовый, А. С. Смолин, Е. Г. Смирнова [и др.]. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД. – 2022. – 91 с.
140. Плитные материалы на основе древесных отходов хвойных пород древесины / В. Д. Эскин, А. Ю. Лопатин, А. Е. Тюменцева [и др.] // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения : Сб. материалов по итогам Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 21 октября 2022 года. – Красноярск: ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2023. – С. 197-200.

141. Eskin, V. D. Sheet materials without binders based on waste from the woodworking industry / V. D. Eskin // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации: Сборник материалов XXII Всерос. науч. Конф. с междунар. участием для бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 17 мая 2023 года. – Красноярск, 2023. – № 22. – С. 282-284.

142. Древесная кора как сырье для экологически чистых материалов / В. Д. Эскин, А. Ю. Лопатин, А. И. Криворотова [и др.] // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сб. материалов IX Междунар. науч.-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 10–14 апреля 2023 года. – Красноярск: ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2023. – С. 760-762.

143. Перспектива переработки древесной коры в композиционные материалы / В. Д. Эскин, А. Е. Тюменцева, А. Ю. Лопатин [и др.] // Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 24 марта 2023 года / ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2023. – С. 28-31.

144. Исследование влияния породы древесины на разбухание корьевых плит без связующих / В. Д. Эскин, А. Ю. Лопатин, А. Е. Тюменцева [и др.] // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), Красноярск, 18–19 апреля 2024 года. – Красноярск: ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2024. – С. 251-253.

145. Эскин, В. Д. Исследование процесса переработки древесной коры методом механоактивации / В. Д. Эскин, А. Ю. Лопатин, А. Е. Тюменцева // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием), Красноярск, 20–21 апреля 2023 года. – Красноярск: ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2023. – С. 415-417.

146. Исследование характеристик плит без связующих веществ на основе коры / В. Д. Эскин, А. Ю. Лопатин, А. Е. Тюменцева [и др.] // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России : Материалы XIX Всерос. (национальной) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Екатеринбург, 03–13 апреля 2023 года. – Екатеринбург: ФГБОУ ВО «УГЛТУ». – 2023. – С. 493-495.

147. Эскин, В. Д. Перспективные направления комплексной переработки древесных отходов хвойных пород / В. Д. Эскин, А. И. Криворотова // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : Материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. – 2023. – С. 716-719.

148. Эскин, В. Д. Сравнительный анализ свойств древесно-корьевых композитов / В. Д. Эскин, А. Ю. Лопатин, А. Е. Тюменцева // Решетневские чтения : Материалы XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2-х частях, Красноярск, 08–10 ноября 2023 года. – ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2023. – С. 865-867.

149. Эскин, В. Д. Влияние параметров процесса гидродинамической обработки коры на свойства плит без связующих веществ / В. Д. Эскин, А. И. Криворотова // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 5 декабря 2024 года. – Вологда: ФГБОУ ВО «ВоГУ». – 2024. – С. 252-255.

150. Goring, D.A.I. Thermal softening, adhesive properties and glass transitions in lignin, hemicellulose and cellulose / D.A.I. Goring // Consolidation of the Paper Web: Trans. of the IIIrd Fund. Res. Symp. Cambridge. – 1965. – P. 556–568.

151. Influence of physical, mechanical, and thermal properties of biomass pellets from agriculture residue: Pearl millet cob and mix / Kumar, P. Subbarao, P. M. V., Kala, L. [et al.]. // Bioresource Technology Reports. – 2022. – Т. 20. – С. 101278.

152. Патент № 2818825 С1 Российская Федерация, МПК В27N 3/04. Способ изготовления корьевой плиты : № 2024105657,; заявл. 05.03.2024; опубл.

06.05.2024 / В. Д. Эскин, А. И. Криворотова; заявитель ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

153. Производство перлитоволокнистых плит : обзор, информации / В.И. Бирюков, М.П. Гаврилов, А.М. Бондарев [и др.]. – М.: ВНИПИЭИ-леспром. – 1989. – 40с.

154. Никоненко, Н. А. Менеджмент и маркетинг (Производство древесностружечных плит): методические указания к выполнению курсового проектирования для студентов специальности 260200 всех форм обучения / Н. А. Никоненко, Н. В. Малиновская. – Красноярск : СибГТУ. – 2005. – 32 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2818825

**Способ изготовления корьевой плиты**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева" (СибГУ им. М.Ф. Решетнева) (RU)*

Авторы: *Эскин Владислав Дмитриевич, (RU), Криворотова Анна Ивановна (RU)*

Заявка № 2024105657

Приоритет изобретения 05 марта 2024 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 06 мая 2024 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 05 марта 2044 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*



Рисунок А1 – Патент № 2818825

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 - Матрица планирования двухфакторного эксперимента по определению физико-механических свойств плит

Номер опыта	Продолжительность обработки, X1	Концентрация, X2	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа	Разбухание по толщине за 24 ч, %
1	1	1	18,4	0,66	7,1
2	-1	1	15,9	0,32	12,1
3	1	-1	17,5	0,63	6,8
4	-1	-1	17,0	0,32	11,4
5	1	0	22,1	0,76	4,8
6	-1	0	19,6	0,51	10,8
7	0	1	23,2	0,65	7,3
8	0	-1	22,9	0,61	6,8
9	0	0	24,4	0,76	5,2

Таблица Б2 - Матрица планирования трехфакторного эксперимента по определению физико-механических свойств плит

Номер опыта	Температура прессования, X1	Влажность пресс-массы, %, X2	Удельная продолжительность прессования, мин/мм, X3	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа	Разбухание по толщине за 24 ч, %
1	1	1	1	22,8	0,72	5,1
2	-1	1	1	19,8	0,67	6,4
3	1	-1	1	22,5	0,69	5,4
4	-1	-1	1	19,3	0,53	7,0
5	1	1	-1	18,1	0,68	5,1
6	-1	1	-1	16,2	0,55	8,0
7	1	-1	-1	19,4	0,71	6,7
8	-1	-1	-1	17,0	0,54	8,7
9	1	0	0	23,9	0,79	5,0
10	-1	0	0	21,3	0,70	5,9
11	0	1	0	25,9	0,67	6,0
12	0	-1	0	27,0	0,65	7,0
13	0	0	1	26,7	0,75	6,2
14	0	0	-1	23,1	0,68	6,4
15	0	0	0	27,3	0,76	5,2

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В1 - Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию водоудерживающей способности при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Y6j	Y7j	Y8j	Y9j	Y10j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	294,0	294,0	296,0	295,0	295,0	295,0	296,0	295,0	296,0	294,0	295,0	0,66	0,816	294,0	295,1	0,611	0,782	2,31	1,421
2	116,0	114,0	118,0	122,0	116,0	119,0	118,0	120,0	121,0	116,0	118,0	6,44	2,539	116,0	118,4	5,027	2,242		1,090

Таблица В2 - Результаты статистической обработки экспериментальных данных при исследовании влияния мелкодисперсной фракции на показатель предела прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Y6j	Y7j	Y8j	Y9j	Y10j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	0,350	0,355	0,355	0,346	0,345	0,346	0,348	0,350	0,349	0,350	0,349	0,00001	0,003	0,355	0,349	0,00001	0,003	2,31	2,052
2	0,215	0,215	0,212	0,214	0,200	0,200	0,194	0,199	0,198	0,196	0,204	0,00007	0,009	0,215	0,203	0,00007	0,008		1,454
3	0,170	0,170	0,175	0,177	0,174	0,168	0,165	0,170	0,164	0,170	0,170	0,00002	0,004	0,177	0,170	0,00001	0,004		2,063
4	0,760	0,761	0,764	0,758	0,755	0,760	0,761	0,762	0,758	0,758	0,760	0,00001	0,003	0,764	0,759	0,00000	0,002		2,205

Таблица В3 - Результаты статистической обработки экспериментальных данных при исследовании влияния мелкодисперсной фракции на показатель предела прочности плит при изгибе при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Y6j	Y7j	Y8j	Y9j	Y10j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	13,7	13,7	13,8	13,9	13,7	13,8	13,8	13,7	13,7	13,8	13,7	0,0046	0,06	13,9	13,8	0,0037	0,06	2,31	1,840
2	11,4	11,4	11,4	11,5	11,5	11,5	11,4	11,5	11,5	11,5	11,5	0,0046	0,06	11,4	11,5	0,0038	0,06		1,794
3	11,0	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,0	11,0	11,0	11,0	11,1	0,0018	0,04	11,1	11,0	0,0016	0,04		1,406
4	24,3	24,3	24,3	24,3	24,2	24,2	24,3	24,2	24,2	24,3	24,3	0,0020	0,04	24,4	24,2	0,0015	0,04		2,197

Таблица В4 - Результаты статистической обработки экспериментальных данных при исследовании влияния мелкодисперсной фракции на показатель разбухания за 24 ч при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Y6j	Y7j	Y8j	Y9j	Y10j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	17,1	17,0	17,0	17,0	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	17,0	16,9	0,0037	0,06	17,1	16,9	0,0028	0,05	2,31	2,132
2	22,7	22,7	22,8	22,8	22,7	22,7	22,8	22,7	22,8	22,8	22,7	0,0028	0,05	22,7	22,8	0,0021	0,04		1,991
3	23,2	23,2	23,3	23,1	23,1	23,1	23,1	23,2	23,2	23,2	23,2	0,0034	0,05	23,3	23,1	0,0025	0,05		2,147
4	5,2	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,2	0,0014	0,03	5,2	5,1	0,0013	0,03		1,439

Таблица В5 - Результаты статистической обработки экспериментальных данных при исследовании влияния мелкодисперсной фракции на показатель водоудерживающей способности при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Y6j	Y7j	Y8j	Y9j	Y10j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	218,0	222,0	220,0	215,0	216,0	214,0	220,0	218,0	218,0	219,0	218,0	6,000	2,449	218,0	218,444	4,527	2,128	2,31	0,209
2	180,0	184,0	182,0	181,0	182,0	184,0	184,0	181,0	181,0	181,0	182,0	2,222	1,491	184,0	181,556	2,527	1,590		1,537
3	180,0	178,0	176,0	182,0	180,0	180,0	180,0	182,0	184,0	178,0	180,0	5,333	2,309	176,0	180,444	3,777	1,944		2,287
4	294,0	294,0	296,0	295,0	295,0	295,0	296,0	295,0	296,0	294,0	295,0	0,667	0,816	294,0	295,111	0,611	0,782		1,421

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г1 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния продолжительности гидродинамической обработки на показатель предела прочности при изгибе при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	4,280	4,260	4,320	4,330	4,300	4,298	0,0008	0,030	4,260	4,307	0,0005	0,020	3,180	2,142
2	5,760	5,720	5,650	5,660	5,710	5,700	0,0020	0,050	5,760	5,685	0,0012	0,040		2,136
3	19,550	19,700	19,530	19,650	19,620	19,610	0,0049	0,070	19,700	19,587	0,0032	0,060		1,981
4	24,150	24,260	24,180	24,190	24,240	24,204	0,0020	0,050	24,260	24,190	0,0014	0,040		1,871
5	24,090	23,920	24,100	23,910	23,980	24,000	0,0082	0,090	24,090	23,977	0,0076	0,090		1,288
6	23,650	23,690	23,720	23,720	23,700	23,696	0,0008	0,030	23,650	23,712	0,0005	0,020		2,819
7	23,220	23,290	23,210	23,390	23,400	23,302	0,0082	0,090	23,400	23,277	0,0069	0,080		1,476

Таблица Г2 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния продолжительности гидродинамической обработки на показатель предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	0,225	0,220	0,236	0,240	0,230	0,230	0,00007	0,0081	0,220	0,233	0,00004	0,0066	3,180	1,931
2	0,320	0,330	0,278	0,290	0,280	0,300	0,00057	0,024	0,330	0,290	0,00047	0,0216		1,852
3	0,518	0,505	0,506	0,510	0,512	0,510	0,00003	0,005	0,518	0,508	0,00001	0,0033		2,951
4	0,765	0,761	0,758	0,757	0,759	0,760	0,00001	0,003	0,765	0,757	0,00001	0,0033		2,346
5	0,754	0,758	0,758	0,762	0,768	0,760	0,00003	0,005	0,768	0,758	0,00001	0,0033		3,062
6	0,771	0,769	0,768	0,776	0,764	0,77	0,00002	0,004	0,776	0,768	0,00001	0,0029		2,717
7	0,820	0,790	0,780	0,810	0,803	0,801	0,00025	0,016	0,780	0,806	0,00016	0,0126		2,043

Таблица Г3 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния параметров гидродинамической обработки на показатель предела прочности при изгибе при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	18,340	18,290	18,520	18,480	18,420	18,410	0,0091	0,095	18,290	18,440	0,0061	0,078	3,180	2,872
2	15,960	16,020	15,840	15,820	15,860	15,900	0,0074	0,086	16,020	15,870	0,0039	0,062		1,996
3	17,400	17,420	17,660	17,530	17,540	17,510	0,0110	0,105	17,660	17,473	0,0053	0,073		1,819
4	16,980	17,050	16,920	16,940	17,010	16,980	0,0027	0,052	17,160	16,920	0,0024	0,049		1,936
5	22,000	22,140	22,200	22,050	22,110	22,100	0,0060	0,078	22,000	22,125	0,0039	0,062		2,142
6	19,560	19,540	19,640	19,620	19,630	19,598	0,0020	0,045	19,540	19,613	0,0013	0,036		2,980
7	23,220	23,290	23,150	23,140	23,190	23,198	0,0037	0,061	23,290	23,175	0,0014	0,037		1,306
8	22,980	22,880	22,920	22,820	22,900	22,900	0,0034	0,058	22,980	22,880	0,0019	0,043		1,936
9	24,390	24,400	24,350	24,430	24,440	24,402	0,0013	0,036	24,350	24,415	0,0006	0,024		2,768

Таблица Г4 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния параметров гидродинамической обработки на показатель предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	0,660	0,640	0,670	0,680	0,660	0,662	0,00022	0,010	0,640	0,667	0,00009	0,010	3,180	2,872
2	0,332	0,345	0,346	0,318	0,309	0,330	0,00027	0,020	0,309	0,335	0,00017	0,010		1,996
3	0,620	0,650	0,600	0,620	0,660	0,630	0,00060	0,020	0,600	0,637	0,00043	0,020		1,819
4	0,340	0,330	0,320	0,310	0,300	0,320	0,00025	0,020	0,360	0,315	0,00017	0,010		1,936
5	0,750	0,745	0,760	0,780	0,770	0,761	0,00021	0,010	0,780	0,756	0,00012	0,010		2,142
6	0,480	0,520	0,530	0,500	0,520	0,510	0,00040	0,020	0,480	0,517	0,00016	0,010		2,980
7	0,640	0,650	0,660	0,640	0,660	0,650	0,00010	0,010	0,640	0,652	0,00009	0,010		1,306
8	0,610	0,590	0,630	0,600	0,620	0,610	0,00025	0,020	0,590	0,615	0,00017	0,010		1,936
9	0,770	0,780	0,740	0,759	0,760	0,762	0,00022	0,010	0,740	0,767	0,00010	0,010		2,768

Таблица Г5 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния параметров гидродинамической обработки на показатель разбухания за 24 ч при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента $t_{\text{табл}}$	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, $t_{\text{расч}}$
1	7,140	7,050	7,070	7,120	7,160	7,108	0,00217	0,050	7,160	7,095	0,00177	0,040	3,180	1,546
2	12,360	12,320	11,940	11,850	12,010	12,096	0,05303	0,230	12,360	12,030	0,04167	0,200		1,617
3	6,750	6,750	6,970	6,860	6,710	6,808	0,01132	0,110	6,970	6,767	0,00416	0,060		3,140
4	11,320	11,540	11,450	11,360	11,30	11,394	0,00998	0,100	11,540	11,357	0,00442	0,070		2,743
5	4,780	4,690	4,860	4,750	4,920	4,800	0,00825	0,090	4,920	4,770	0,00500	0,070		2,121
6	10,880	10,850	10,740	10,850	10,720	10,808	0,00527	0,070	10,880	10,790	0,00487	0,070		1,290
7	7,230	7,410	7,380	7,260	7,220	7,300	0,00785	0,090	7,410	7,272	0,00542	0,070		1,867
8	6,870	6,920	6,980	6,590	6,670	6,806	0,02813	0,170	6,980	6,762	0,02489	0,160		1,379
9	5,130	5,140	5,340	5,260	5,170	5,208	0,00807	0,090	5,340	5,175	0,00350	0,060		2,789

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д1 – Результаты статистической обработки данных однофакторного эксперимента по исследованию показателя предела прочности при изгибе от температуры прессования при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	22,310	22,300	22,260	22,270	22,360	22,300	0,00155	0,0394	22,360	22,285	0,00057	0,0238	3,180	3,151
2	24,050	24,120	24,180	24,100	24,090	24,108	0,00227	0,0476	24,180	24,075	0,00137	0,0370		2,840
3	25,850	25,860	25,940	25,930	25,950	25,906	0,00223	0,0472	25,850	25,920	0,00167	0,0408		1,715
4	26,280	26,330	26,380	26,220	26,290	26,300	0,00355	0,0596	26,380	26,280	0,00207	0,0455		2,200
5	25,920	25,980	25,910	25,880	25,820	25,902	0,00342	0,0585	25,820	25,923	0,00176	0,0419		2,444
6	22,100	22,180	22,050	22,040	22,110	22,096	0,00313	0,0559	22,180	22,075	0,00123	0,0351		2,990
7	18,480	18,560	18,460	18,550	18,420	18,494	0,00358	0,0598	18,420	18,513	0,00249	0,0499		1,853

Таблица Д2 – Результаты статистической обработки данных однофакторного эксперимента по исследованию показателя предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти от температуры прессования при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	0,608	0,594	0,608	0,61	0,585	0,6010	0,00012	0,0110	0,585	0,6050	0,00005	0,0074	3,180	2,7050
2	0,618	0,612	0,605	0,605	0,61	0,6100	0,00003	0,0054	0,618	0,6080	0,00001	0,0036		2,8098
3	0,675	0,678	0,684	0,682	0,683	0,6804	0,00001	0,0038	0,675	0,6818	0,00001	0,0026		2,5666
4	0,756	0,758	0,762	0,764	0,763	0,7606	0,00001	0,0034	0,756	0,7618	0,00001	0,0026		2,1863
5	0,754	0,758	0,758	0,762	0,768	0,7600	0,00003	0,0053	0,768	0,7580	0,00001	0,0033		3,0619
6	0,774	0,768	0,772	0,768	0,768	0,7700	0,00001	0,0028	0,774	0,7690	0,00000	0,0020		2,5000
7	0,805	0,81	0,795	0,791	0,796	0,7994	0,00006	0,0078	0,805	0,7968	0,00003	0,0059		1,3962

Таблица Д3 – Результаты статистической обработки данных однофакторного эксперимента по исследованию показателя разбухания за 24 ч от температуры прессования при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	6,840	6,810	6,810	6,780	6,770	6,802	0,00077	0,028	6,840	6,780	0,00047	0,022	3,180	2,777
2	6,260	6,320	6,280	6,320	6,310	6,298	0,00072	0,027	6,260	6,308	0,00036	0,019		2,509
3	5,360	5,440	5,380	5,420	5,410	5,402	0,00102	0,032	5,360	5,413	0,00063	0,025		2,100
4	5,220	5,240	5,220	5,160	5,180	5,204	0,00108	0,033	5,160	5,215	0,00063	0,025		2,185
5	4,950	4,910	4,960	5,110	5,070	5,000	0,00730	0,085	5,110	4,973	0,00469	0,068		2,007
6	4,890	4,910	4,950	4,860	4,890	4,900	0,00110	0,033	4,950	4,888	0,00042	0,021		3,032
7	4,460	4,480	4,520	4,540	4,510	4,502	0,00102	0,032	4,460	4,513	0,00062	0,025		2,100

Таблица Д4 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию показателя предела прочности при изгибе от влажности пресс-массы при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	22,150	22,050	22,060	22,120	22,140	22,104	0,00213	0,046	22,050	22,118	0,00163	0,040	3,180	1,674
2	23,480	23,490	23,510	23,520	23,510	23,502	0,00027	0,016	23,480	23,508	0,00016	0,013		2,185
3	24,210	24,220	24,180	24,190	23,220	24,004	0,19233	0,439	24,180	23,960	0,24353	0,493		0,446
4	24,880	24,810	24,980	24,870	24,970	24,902	0,00517	0,072	24,810	24,925	0,00337	0,058		1,982
5	23,330	23,310	23,280	23,270	23,290	23,296	0,00058	0,024	23,330	23,288	0,00029	0,017		2,489
6	21,260	21,330	21,270	21,330	21,320	21,302	0,00117	0,034	21,260	21,313	0,00082	0,029		1,828
7	19,650	19,620	19,580	19,620	19,540	19,602	0,00182	0,043	19,540	19,618	0,00083	0,029		2,698

Таблица Д5 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию показателя предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти от влажности пресс-массы при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента $t_{табл}$	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, $t_{расч}$
1	0,722	0,718	0,722	0,716	0,724	0,720	0,00001	0,003	0,716	0,722	0,00001	0,003	3,180	2,185
2	0,756	0,754	0,758	0,764	0,765	0,759	0,00002	0,005	0,765	0,758	0,00002	0,004		1,620
3	0,810	0,806	0,796	0,794	0,790	0,799	0,00007	0,008	0,810	0,797	0,00005	0,007		1,983
4	0,642	0,649	0,634	0,633	0,638	0,639	0,00004	0,007	0,649	0,637	0,00002	0,004		2,978
5	0,580	0,589	0,616	0,610	0,604	0,600	0,00022	0,015	0,580	0,605	0,00013	0,012		2,136
6	0,572	0,576	0,569	0,564	0,563	0,569	0,00003	0,005	0,576	0,567	0,00002	0,004		2,121
7	0,552	0,554	0,560	0,540	0,546	0,550	0,00006	0,008	0,540	0,552	0,00007	0,008		1,371

Таблица Д6 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию показателя разбухания за 24 ч от влажности пресс-массы при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента $t_{табл}$	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, $t_{расч}$
1	5,890	5,840	5,880	5,950	5,940	5,900	0,00205	0,045	5,840	5,915	0,00123	0,035	3,180	2,136
2	5,420	5,460	5,380	5,370	5,420	5,410	0,00130	0,036	5,460	5,398	0,00069	0,026		2,376
3	5,050	5,120	5,110	5,160	5,060	5,100	0,00205	0,045	5,160	5,085	0,00123	0,035		2,136
4	6,220	6,260	6,180	6,160	6,180	6,200	0,00160	0,040	6,260	6,185	0,00063	0,025		2,980
5	6,850	6,880	6,740	6,770	6,770	6,802	0,00357	0,060	6,880	6,783	0,00222	0,047		2,067
6	7,410	7,440	7,410	7,380	7,370	7,402	0,00077	0,028	7,440	7,393	0,00043	0,021		2,304
7	8,920	8,960	8,880	8,860	8,860	8,896	0,00188	0,043	8,960	8,880	0,00080	0,028		2,828

Таблица Д7 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию показателя предела прочности при изгибе от удельной продолжительности прессования при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	15,250	15,280	15,320	15,350	15,310	15,302	0,00147	0,038	15,250	15,315	0,00083	0,029	3,180	2,252
2	22,440	22,300	22,380	22,400	22,500	22,404	0,00548	0,074	22,300	22,430	0,00280	0,053		2,457
3	25,340	25,380	25,250	25,250	25,300	25,304	0,00323	0,057	25,380	25,285	0,00190	0,044		2,179
4	25,870	25,900	25,740	25,760	25,740	25,802	0,00592	0,077	25,900	25,778	0,00389	0,062		1,964
5	25,540	25,530	25,600	25,670	25,680	25,604	0,00493	0,070	25,680	25,585	0,00417	0,065		1,472
6	23,150	23,150	23,050	23,090	23,110	23,110	0,00180	0,042	23,050	23,125	0,00090	0,030		2,500
7	19,450	19,470	19,370	19,320	19,410	19,404	0,00368	0,061	19,320	19,425	0,00197	0,044		2,368

Таблица Д8 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию показателя предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти от удельной продолжительности прессования при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	0,420	0,425	0,425	0,418	0,416	0,421	0,00002	0,004	0,425	0,421	0,00002	0,004	3,180	1,028
2	0,471	0,476	0,468	0,467	0,468	0,470	0,00001	0,004	0,476	0,470	0,00001	0,004		1,633
3	0,705	0,710	0,694	0,695	0,695	0,700	0,00005	0,007	0,695	0,700	0,00005	0,007		0,661
4	0,765	0,764	0,761	0,757	0,755	0,760	0,00002	0,004	0,764	0,760	0,00002	0,004		0,830
5	0,715	0,705	0,716	0,695	0,684	0,703	0,00019	0,014	0,705	0,703	0,00019	0,014		0,147
6	0,610	0,608	0,605	0,595	0,598	0,603	0,00004	0,006	0,608	0,603	0,00004	0,006		0,743
7	0,440	0,442	0,447	0,437	0,438	0,441	0,00002	0,004	0,442	0,441	0,00002	0,004		0,303

Таблица Д9 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию показателя разбухания за 24 ч от удельной продолжительности прессования при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	7,980	8,040	7,840	7,810	7,840	7,902	0,01032	0,102	8,040	7,868	0,00583	0,076	3,180	2,260
2	6,970	6,980	6,940	7,050	7,060	7,000	0,00275	0,052	6,940	7,015	0,00217	0,047		1,611
3	5,950	5,960	5,880	5,850	5,860	5,900	0,00265	0,051	5,960	5,885	0,00203	0,045		1,663
4	5,140	5,180	5,220	5,210	5,260	5,202	0,00202	0,045	5,140	5,218	0,00109	0,033		2,346
5	4,860	4,880	4,740	4,760	4,780	4,804	0,00388	0,062	4,880	4,785	0,00277	0,053		1,806
6	6,050	6,090	6,000	5,980	5,910	6,006	0,00473	0,069	5,910	6,030	0,00247	0,050		2,416
7	6,230	6,260	6,180	6,170	6,160	6,200	0,00185	0,043	6,260	6,183	0,00069	0,026		2,947

Таблица Д10 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния режима прессования на показатель предела прочности при изгибе при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	Y <sub>4j</sub>	Y <sub>5j</sub>	Y <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> <sub>j</sub>	S <sub>j</sub>	Y' <sub>j</sub>	Y' <sub>срj</sub>	S <sup>2</sup> ' <sub>j</sub>	S' <sub>j</sub>	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	22,580	22,690	22,840	22,950	22,890	22,790	0,02305	0,150	22,580	22,842	0,01236	0,110	3,180	2,361
2	19,650	19,690	19,860	19,920	19,900	19,804	0,01563	0,130	19,650	19,842	0,01096	0,100		1,839
3	22,360	22,510	22,450	22,530	22,640	22,498	0,01067	0,100	22,640	22,462	0,00583	0,080		2,326
4	19,220	19,280	19,360	19,320	19,300	19,296	0,00268	0,050	19,220	19,387	0,00849	0,090		1,818
5	18,050	18,090	17,870	18,210	18,260	18,096	0,02328	0,150	17,870	18,152	0,00976	0,100		2,860
6	16,160	16,180	16,220	16,220	16,260	16,208	0,00152	0,040	16,160	16,275	0,00170	0,040		2,789
7	19,360	19,330	19,450	19,400	19,500	19,408	0,00467	0,070	19,50	19,385	0,00270	0,050		2,213
8	17,210	17,110	16,840	16,810	17,060	17,006	0,03033	0,170	17,210	16,955	0,02310	0,150		1,678
9	23,920	24,000	23,840	23,860	23,880	23,900	0,00400	0,060	24,000	23,857	0,00309	0,060		2,563
10	21,310	21,380	21,330	21,310	21,240	21,314	0,00253	0,050	21,240	21,332	0,00109	0,030		2,800
11	25,600	26,100	26,120	25,800	25,900	25,904	0,04708	0,220	25,600	26,150	0,12333	0,350		1,566
12	27,150	27,100	27,120	26,850	26,880	27,020	0,02045	0,140	26,850	27,062	0,01523	0,120		1,722
13	26,490	26,780	26,580	26,880	26,780	26,702	0,02592	0,160	26,490	26,755	0,01583	0,130		2,106
14	23,010	23,090	23,220	23,110	23,110	23,108	0,00562	0,070	23,220	23,080	0,00227	0,050		2,941
15	27,440	27,260	27,190	27,210	27,390	27,298	0,01237	0,110	27,440	27,262	0,00809	0,090		1,973

Таблица Д11 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния режима прессования на показатель предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	0,710	0,726	0,730	0,716	0,720	0,720	0,00006	0,008	0,710	0,723	0,00004	0,006	3,180	2,091
2	0,670	0,668	0,680	0,660	0,670	0,670	0,00005	0,007	0,660	0,667	0,00002	0,004		1,470
3	0,680	0,680	0,685	0,700	0,710	0,691	0,00018	0,013	0,710	0,686	0,00009	0,009		2,509
4	0,520	0,530	0,530	0,539	0,535	0,531	0,00005	0,007	0,520	0,533	0,00002	0,004		3,097
5	0,680	0,684	0,681	0,680	0,678	0,681	0,000005	0,002	0,678	0,680	0,00001	0,001		1,391
6	0,550	0,550	0,540	0,550	0,560	0,550	0,00005	0,007	0,540	0,555	0,00003	0,005		2,598
7	0,720	0,710	0,705	0,708	0,710	0,711	0,00003	0,006	0,720	0,706	0,00002	0,004		2,872
8	0,530	0,530	0,550	0,540	0,540	0,538	0,00007	0,008	0,550	0,535	0,00003	0,005		2,598
9	0,800	0,810	0,790	0,780	0,780	0,792	0,00017	0,013	0,810	0,787	0,00009	0,009		2,350
10	0,690	0,695	0,710	0,710	0,698	0,701	0,00008	0,009	0,690	0,703	0,00006	0,008		1,679
11	0,670	0,675	0,678	0,671	0,660	0,671	0,00005	0,007	0,660	0,666	0,00011	0,010		0,576
12	0,660	0,655	0,642	0,646	0,650	0,651	0,00005	0,007	0,642	0,648	0,00004	0,006		1,088
13	0,740	0,745	0,766	0,750	0,750	0,750	0,00010	0,010	0,740	0,746	0,00002	0,004		1,306
14	0,685	0,688	0,680	0,671	0,671	0,679	0,00006	0,008	0,688	0,677	0,00005	0,007		1,620
15	0,756	0,756	0,750	0,765	0,770	0,759	0,00006	0,008	0,770	0,757	0,00004	0,006		2,142

Таблица Д12 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния режима прессования на показатель разбухания за 24 ч при процедуре проверки на наличие грубых промахов

Номер опыта	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	Y5j	Ycpj	S <sup>2</sup> j	Sj	Y'j	Y'cpj	S <sup>2</sup> 'j	S'j	Табличное значение t-критерия Стьюдента t <sub>табл</sub>	Расчетные значения t-критерия Стьюдента, t <sub>расч</sub>
1	5,100	5,140	5,060	5,100	5,110	5,102	0,00082	0,029	5,060	5,112	0,00036	0,019	3,180	2,773
2	6,450	6,500	6,320	6,380	6,360	6,402	0,00522	0,072	6,500	6,377	0,00296	0,054		2,252
3	5,420	5,440	5,380	5,360	5,400	5,400	0,00100	0,032	5,440	5,390	0,00067	0,026		1,936
4	7,060	6,900	7,090	6,880	7,100	7,006	0,01148	0,107	6,880	7,037	0,00869	0,093		1,689
5	5,100	5,130	5,100	5,040	5,100	5,094	0,00108	0,033	5,190	5,085	0,00090	0,030		3,500
6	8,060	8,010	7,920	7,980	8,060	8,006	0,00348	0,059	7,920	8,027	0,00156	0,039		2,723
7	6,730	6,740	6,680	6,690	6,700	6,708	0,00067	0,026	6,740	6,700	0,00047	0,022		1,852
8	8,680	8,730	8,720	8,680	8,690	8,700	0,00055	0,023	8,730	8,692	0,00036	0,019		1,981
9	5,090	5,100	4,890	4,900	5,100	5,016	0,01223	0,111	5,100	5,047	0,00969	0,098		0,533
10	5,840	5,880	5,900	5,930	5,950	5,900	0,00185	0,043	5,840	5,915	0,00097	0,031		2,412
11	6,100	6,080	5,950	5,880	6,000	6,002	0,00832	0,091	5,880	6,032	0,00489	0,070		2,180
12	7,050	7,100	7,050	7,000	6,950	7,030	0,00325	0,057	6,950	7,050	0,00167	0,041		2,449
13	6,120	6,180	6,250	6,250	6,200	6,200	0,00295	0,054	6,120	6,220	0,00127	0,036		2,810
14	6,480	6,440	6,360	6,380	6,350	6,402	0,00312	0,056	6,480	6,382	0,00163	0,040		2,419
15	5,230	5,230	5,220	5,150	5,180	5,202	0,00127	0,036	5,230	5,215	0,00057	0,024		0,630

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е


 УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по исследованиям и  
 разработкам СибГУ им. М.Ф. Решетнева  
 Колесников П. Г.  
 « 16 / 2025 г.


 УТВЕРЖДАЮ  
 Заместитель Генерального директора  
 ООО «Демьяновский завод ДВП»  
 Панузов А. В.  
 « 16 / 2025 г.



АКТ

внедрения результатов научной работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия ООО «Демьяновский завод ДВП» начальник комплекса ДВП Костяева Л.А., главный инженер Прилуцкий А.В., главный механик Мельников А.В., с одной стороны, и представители Сибирского государственного университета науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева соискатель Эскин В.Д., д.т.н., профессор Ермолин В.Н., к.т.н., доцент Криворотова А.И., к.т.н., доцент Баяндин М.А., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в лабораторных и промышленных условиях под руководством д.т.н., профессора Ермолина В.Н., к.т.н., доцента Криворотовой А. И., к.т.н. доцента Баяндина М. А., Эскиным В. Д. реализованы исследования в рамках научной работы: «Получение плитных материалов без связующих веществ из коры сосны обыкновенной».

В результате на основании теоретических и экспериментальных исследований, математического анализа разработана технология производства плитных материалов с контролируемыми свойствами из отходов окорки древесного сырья без использования связующих веществ.

Цель работы: разработка технологии производства плитных материалов без применения связующих веществ из отходов окорки, прошедших обработку в гидродинамическом диспергаторе, и её использования на действующем предприятии для эффективной переработки отходов коры, образующихся в результате производственного процесса.

Работа включала в себя следующие этапы:

1. Теоретические исследования и математический анализ процессов гидродинамической обработки отходов окорки с определением оптимальных параметров продолжительности обработки и концентрации частиц коры в воде и режима горячего прессования плит без связующих веществ с определением оптимальных режимных параметров: температура, продолжительность, влажность пресс-массы коры, и оценку эффективности процессов гидродинамической обработки путем определения качественных характеристик, подготовленной обработанной массы коры и горячего прессования плитных материалов путем определения физико-механических показателей изготовленных плит.

Планирование однофакторных и двухфакторных экспериментов при определении влияния параметров гидродинамической обработки и горячего

прессования на физико-механические свойства плитных материалов без связующих осуществлялось с помощью программного продукта *Statgraphics Centurion 18*.

Однофакторные эксперименты проводились для определения границ варьирования параметра продолжительности гидродинамической обработки при проведении двухфакторного эксперимента. Продолжительность обработки в гидродинамическом диспергаторе составляла 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 мин. Концентрация массы по всем испытательным циклам составляла 6 %.

Определение оптимального режима гидродинамической обработки и горячего прессования проводилось с использованием универсального математического программного продукта *MathCAD*.

В результате решения поставленной задачи оптимизации были определены оптимальные натуральные значения варьируемых факторов для процесса гидродинамической обработки корьевой массы: продолжительность обработки  $\tau = 8$  мин; концентрация пресс-массы  $K = 6$  %.

По результатам работы физико-механические свойства плит, полученных при оптимальных значениях гидродинамической обработки коры – продолжительность обработки 8 мин и концентрация корьевой массы 6 %, – имели следующие значения:

– предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 25,1$  МПа;

– предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{раст\perp} = 0,78$  МПа;

– разбухание по толщине за 24 ч –  $V = 5,0$  %.

В качестве параметров горячего прессования для определения прочности при изгибе  $\sigma_{изг}$ , прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{раст\perp}$ , разбухания по толщине за 24 ч приняты температура прессования плит без связующих,  $T$ , °С, влажность пресс-массы, %, удельная продолжительность прессования, мин/мм.

В качестве целевой функции принимаем показатель прочности при изгибе ( $\sigma_{изг} \max$ ). Выставляем следующие ограничения:  $\sigma_{раст\perp} \geq 0,80$  МПа;  $V \leq 4,5$  %;  $160 \text{ °С} \leq T \leq 220 \text{ °С}$ ;  $150\% \leq W \leq 210\%$ ;  $2 \text{ мин/мм} \leq \tau \leq 3,6 \text{ мин/мм}$ .

В результате решения поставленной задачи оптимизации были определены оптимальные натуральные значения варьируемых факторов для процесса горячего прессования плит на корьевой пресс-массе: температура прессования  $T = 195$  °С; влажность пресс-массы  $W = 190$  %; удельная продолжительность прессования  $\tau = 3,0$  мин/мм;

Выходные параметры в случае использования результатов проведенной оптимизации принимают следующие аналитические значения: предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти  $\sigma_{раст\perp} = 0,79$  МПа; предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 27,3$  МПа; разбухание по толщине за 24 ч  $V = 4,5$  %.

2. Изготовление опытных образцов плитных материалов без связующих веществ осуществлялось при следующих значениях параметров гидродинамической обработки - продолжительность обработки – 8 мин;

концентрация 6 % и параметрах горячего прессования – температура плит прессы  $T=195^{\circ}\text{C}$ ; влажность пресс-массы  $W=190\%$ ; удельная продолжительность прессования  $\tau=3,0$  мин/мм. Физико-механические свойства плит толщиной 4 мм имели следующие значения: плотность –  $980\text{ кг/м}^3$ ; предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг}=26,8$  МПа; предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{раст\perp}=0,77$  МПа; разбухание по толщине за 24 ч  $-V=4,7\%$ .

3. Разработанный технологический процесс производства плитных материалов из отходов окорки древесного сырья без использования связующих веществ, включающий следующие производственные операции: механическое измельчение отходов окорки, сортировка коры, гидродинамическая обработка измельченной коры, формирование ковра, отжим пакета плит, горячее прессование плит, технологическая выдержка, обрезка плит по формату, упаковка и складирование готовых плит.

Использование разработанной технологии позволит перерабатывать образующиеся на территории предприятия отходы окорки в полезную продукцию с высокой добавленной стоимостью. Изготавливаемые по технологии плиты могут быть использованы в качестве листового отделочного и конструкционного материала, в домостроении, в качестве подложки напольных и кровельных материалов, мебели, и особенно в тяжелых температурно-влажностных условиях.

Предлагаемый способ изготовления плитных материалов защищен патентом РФ.

Результаты работы рассмотрены руководством предприятия и будут в дальнейшем использованы для внедрения в производство.

От ООО «Демьяновский завод ДВП»

Начальник комплекса ДВП



Л. А. Костяева

Главный инженер



А. В. Прилуцкий

Главный механик



А.В. Мельников

От СибГУ им. М.Ф. Решетнева

Д.т.н., профессор



В. Н. Ермолин

К.т.н., доцент



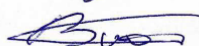
А. И. Криворотова

К.т.н., доцент



М. А. Баяндин

Соискатель



В. Д. Эскин

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
ООО «БИОЛЕСПРОМ»  
Раковец Ю.С.

АКТ

внедрения результатов научной работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия ООО «БИОЛЕСПРОМ» заместитель директора по производству Гуляев Р.В. и представители Сибирского государственного университета науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева соискатель Эскин В. Д., д.т.н., профессор Ермолин В. Н., к.т.н., доцент Криворотова А. И., к.т.н., доцент Баяндин М. А., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в лабораторно-промышленных условиях под руководством д.т.н., профессора Ермолина В.Н., Эскиным В. Д. проведены работы по получения плитного материала из древесной коры без применения связующих веществ.

Работа включала следующие этапы:

1. Для проведения работ использовалась древесная кора хвойных пород из технологического отвала предприятия. Размер частиц коры влажностью от 50 до 85 % составлял от 10 до 70 мм. Перед обработкой коры в гидродинамическом диспергаторе проводилось механическое измельчение коры в мельнице молоткового типа до фракции частиц не более 5 мм. После измельчения кора просеивалась через сито, при этом частицы не соответствующего размера направлялись на повторное измельчение. Затем, измельченная кора обрабатывалась в гидродинамическом диспергаторе. Процесс обработки заключался в следующем: измельченная кора подавалась в бак гидродинамического диспергатора марки РГД-1, где смешивалась с водой в концентрации 6 %, после этого установка запускалась и осуществлялся процесс обработки в течение 8 минут. По окончании обработки в баке диспергатора образовывалась однородная суспензия коры. Полученная суспензия направлялась в отливную форму, которая представляет собой короб, дном которого является металлическая фильтровальная сетка. После обезвоживания на сите оставалась корьевая масса с влажностью 700-900 %. Требуемое количество массы для изготовления одной плиты помещалось в пресс-форму для отжима (подпрессовки). Подпрессовка массы осуществлялась в гидравлическом прессе до влажности пакета равной 190 %, давление подпрессовки – 1,5-2 МПа. После подпрессовки, полученный пакет плит прессовался на стальных поддонах с использованием дистанционных металлических прокладок, для регулирования толщины плиты. Прессование осуществлялось по

следующему разработанному режиму прессования: температура прессования  $T=195$  °С; удельное давление прессования  $P_{уд} = 3,5$  МПа; влажность пресс-массы  $W= 190$  %; удельная продолжительность прессования  $\tau= 3,0$  мин/мм. После горячего прессования плиты выдерживались в течение 24–48 ч в комнатных условиях, с последующим изготовлением образцов для определения физико-механических показателей. Свойства полученных плит следующие:– предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг} = 25,1$  МПа; – предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти  $\sigma_{раст.1}=0,78$  МПа; – разбухание по толщине за 24 ч –  $V = 5,0$  %.

2 На основании результатов экспериментальных исследований разработан технологический процесс производства плитных материалов из отходов окорки древесного сырья без использования связующих веществ, включающий следующие производственные операции: гидромойка коры, механическое измельчение отходов окорки, сортировка коры, гидродинамическая обработка измельченной коры, формирование ковра, отжим пакета, горячее прессование плит, обрезка плит по формату, технологическая выдержка, упаковка и складирование готовых плит.

Использование разработанной технологии позволит перерабатывать образующиеся на территории предприятия отходы окорки в полезную продукцию с высокой добавленной стоимостью. Изготавливаемые по технологии плиты могут быть использованы в качестве листового отделочного и конструкционного материала, в домостроении, в качестве подложки напольных и кровельных материалов, мебели, и особенно материалов эксплуатируемых в тяжелых температурно-влажностных условиях.

Предлагаемый способ изготовления плитных материалов защищен патентом РФ № 2818825.

Результаты работы рассмотрены руководством предприятия и будут включены в план развития предприятия ООО «БИОЛЕСПРОМ» для производства новых видов продукции в 2027 году.

От ООО «БИОЛЕСПРОМ»

Заместитель директора

Технолог цеха-мастер цеха

От СибГУ им. М.Ф. Решетнева

д.т.н., профессор

к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

Соискатель

Р. В. Гуляев

С.Л. Феоктистов

В. Н. Ермолин

А. И. Криворотова

М. А. Баяндип

В. Д. Эскин