

На правах рукописи

Казицин Сергей Николаевич

ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ
ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ

05.21.05 – Древесиноведение, технология и оборудование
деревопереработки

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (ФГБОУ ВО СиБГУ им. М.Ф. Решетнева)

Научный руководитель: Ермолин Владимир Николаевич
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», заведующий кафедрой технологии композиционных материалов и древесиноведения

Официальные оппоненты: Чистова Наталья Геральдовна
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», профессор кафедры эксплуатации железных дорог

Артёмов Артём Вячеславович
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажного производства и переработки полимеров

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет» (ФГБОУ ВО БрГУ)

Защита диссертации состоится **«29» марта 2018 г. в 10.00** на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу 620100, г. Екатеринбург, пр. Сибирский тракт, 37, к. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru).

A - 1832

Автореферат разослан 15 февраля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
доцент

Научная библиотека
УГЛТУ
г. Екатеринбург

Шишкина Елена Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В процессе механической обработки древесины до 25 % от исходного объема сырья составляют отходы в виде измельченных древесных частиц (опилки, стружка). Использование такой древесины ограничивается производством тепловой энергии, а основная масса складируется во временных хранилищах, создавая проблемы экологического характера.

Решение данной задачи может стать использование древесных опилок в производстве плитных материалов. Однако технологии производства плит, применяемые в настоящее время, не позволяют вводить в состав композиций некондиционные древесные частицы по причине снижения физико-механических свойств готовых материалов. Кроме того большинство существующих технологий предполагают использование синтетических связующих, что обуславливает эмиссию токсичных веществ как в процессе производства, так и при эксплуатации плит. Включение в состав плит древесные частицы в виде опилок и стружки приводит к повышению расхода связующего. Известные технологии изготовления плит без связующих веществ - пьезотермопластики (ПТП) и лигноуглеводные древесные пластики (ЛУДП) из древесных отходов - не получили широкого распространения ввиду низкой технологичности производства и пониженных свойств получаемых материалов.

Таким образом, разработка новой специализированной технологии, которая позволит производить из неликвидных мягких отходов деревообработки конкурентоспособные экологически чистые плитные материалы, является актуальной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по теме «Повышение эффективности использования древесного сырья Сибирского региона, путем совершенствования механических и физико-химических методов его переработки» № 114050640009, Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 17-48-240553.

Степень разработанности. Существенный вклад в области изучения древесноволокнистых плит внесли Н.Я. Солечник, А.А. Леонович, Е.Я. Балмасов, В.Д. Бекетов, В.И. Бирюков и др. Разработки в области плитных материалов без связующих веществ в виде пластика из древесных опилок в нашей стране велись с 30-х годов прошлого века. Полученный материал - «баркалайт» был предложен Т.Е. Баркалаем. В дальнейшем изучением технологии создания плит без связующих веществ занимались А.Н. Минин, Н.Я. Солечник и их ученики, которые исследовали материал под названием пьезотермопластик (ПТП). В 1962 году в Уральском лесотехническом институте под руководством В.Н. Петри и И.А. Вахрушевой был создан плитный материал без связующих веществ – лигноуглеводный древесный пластик (ЛУДП). Исследования по совершенствованию технологий древесных

Электронный архив УГЛТУ

пластиков ведутся и в настоящее время в Уральском государственном лесотехническом университете под руководством В.Г. Бурындина, Алтайском государственном университете под руководством Н.Г. Базарновой, Институте химии и химической технологии СО РАН под руководством М.Л. Щипко и др.

Полученные в ходе исследований материалы ПТП и ЛУДП обладали высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, но они так и не нашли широкого применения, поскольку одной из особенностей данных материалов являлась высокая плотность ($1200\text{--}1300 \text{ кг}/\text{м}^3$), обусловленная необходимой степенью уплотнения древесных частиц для структурообразования плит. При плотности менее $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ физико-механические свойства пластиков резко снижались. По этой причине плотность плит отрицательно сказывается в некоторых сферах их применения (стеновые материалы, перегородки, настилы и др.). Для создания плит средней плотности из древесных частиц без связующих веществ необходим иной механизм структурообразования. Учитывая вышесказанное, была определена необходимость разработки технологии получения плит средней плотности без связующих веществ с высокими физико-механическими показателями из древесных частиц.

Цель исследования. Разработка технологии получения древесных плит средней плотности без использования связующих веществ, основанной на предварительной гидродинамической обработке древесных частиц.

Задачи исследования:

1. Определить влияние режимов гидродинамической обработки на аутогезионные свойства древесных частиц;
2. Исследовать механизм формирования структуры плит без адгезивов из механоактивированных древесных частиц;
3. Исследовать влияние технологических факторов процесса прессования на физико-механические свойства плит;
4. Разработать технологическую схему производства плит средней плотности без адгезивов из механоактивированных древесных частиц.

Научная новизна работы:

1. Предложен новый способ формирования структуры древесных плит средней плотности за счет аутогезионного взаимодействия.
2. Впервые установлены и математически описаны закономерности влияния режимных параметров гидродинамической обработки и горячего прессования на физико-механические свойства плит без использования связующих веществ из механоактивированных древесных частиц.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в установлении механизма аутогезионного взаимодействия механоактивированных древесных частиц при структурообразовании плит без адгезивов.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты проведенных исследований позволяют получить экологически безопасные древесные плиты из неликвидных измельченных древесных отходов с физико-механическими свойствами, отвечающими современным отечественным

стандартам на древесно-плитную продукцию. Разработанная технология, за счет варьирования технологических факторов производства, позволит изготавливать древесные плиты без связующих веществ с требуемыми свойствами.

Объектом исследования является процесс получения плитных материалов без адгезивов из механоактивированных древесных частиц.

Предмет исследования - закономерности структурообразования древесных плит из механоактивированных древесных частиц.

Методы исследования

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось с применением теории планирования и общепринятой методики обработки экспериментальных данных.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Механизм структурообразования плит средней плотности без адгезивов из механоактивированных древесных частиц.
2. Результаты экспериментальных исследований влияния гидродинамической обработки древесных частиц и режимных параметров горячего прессования на физико-механические свойства плит средней плотности без адгезивов.
3. Технология получения плит средней плотности без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц.

Соответствие паспорту специальности. Представленная работа соответствует паспорту специальности 05.21.05 – Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки (п. 2 - Разработка теории и методов технологического воздействия на объекты обработки с целью получения высококачественной и экологически чистой продукции; п. 4 - Разработка операционных технологий и процессов в производстве: лесопильном, мебельном, фанерном, древесных плит, строительных деталей и при защитной обработке, сушке и тепловой обработке древесины).

Личный вклад соискателя

Автором лично выполнено теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение процесса структурообразования плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц, а также исследования зависимости физико-механических свойств плит от технологических параметров гидродинамической обработки и горячего прессования. Анализ полученных данных экспериментальных исследований выполнен автором при участии доктора технических наук, профессора Ермолина Владимира Николаевича.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность работы обеспечена многократным повторением экспериментов, применением методов статистической обработки полученных результатов измерений. Результаты работы докладывались на Международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, 2014), Всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы –

проблемы и решения» (Красноярск, 2014), Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (Минск, 2014), Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» (Красноярск, 2015), Международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, 2015).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 статей, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 статья в издании, входящем в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 27 таблиц и 31 рисунок. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка, включающего 127 ссылок на отечественные и зарубежные работы, и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований.

В первом разделе проведен анализ состояния исследуемого вопроса, а именно: рассмотрены данные о направлениях использования отходов лесопиления и деревообработки (опилок). Приведены способы активации и режимы пьезотермической обработки древесины для получения плит без связующих.

Анализ направлений использования отходов деревообработки позволил сделать вывод о том, что вовлечение опилок в состав композиции древесных плит на основе связующих веществ приводит к снижению их физико-механических свойств и повышению расхода адгезива, вследствие чего увеличивается стоимость и токсичность готовых плит. Было установлено, что использование древесных опилок в качестве основного сырья для производства древесных плит без использования связующих веществ (древесных пластиков) решает проблему переработки отходов и позволяет создавать экологически безопасные материалы. Но их недостатки, в том числе плотность более 1000 кг/м³, не позволяют найти данному виду плит широкое применение. Основные исследования в области получения древесных пластиков были проведены такими учеными, как Г.Е. Баркалай, А.Н. Минин, Н.Я. Солечник, Я.А. Гравитис, В.Н. Петри, И.А. Вахрушева и их учениками.

Анализ априорной информации показал, что для получения плит без связующих веществ из мягких отходов деревообработки плотностью менее 1000 кг/м³ с высокими физико-механическими свойствами необходим подбор способа предварительной активации древесных частиц и поиск оптимальных режимов горячего прессования.

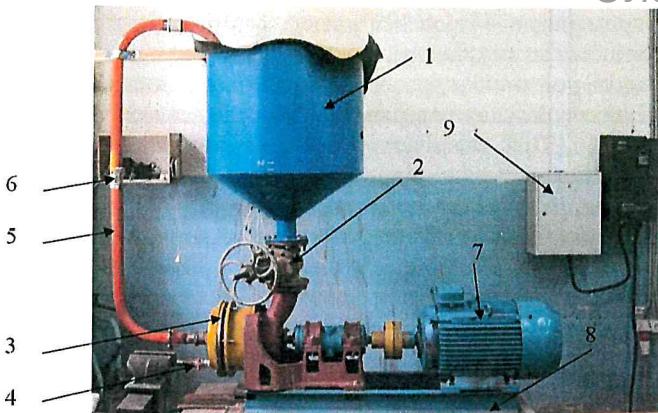
Во втором разделе проведен анализ формирования структуры плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц.

В процессе подготовки древесной массы важным показателем ее качества является внешняя удельная поверхность, которая зависит от формы и размера древесных частиц. При увеличении внешней поверхности частиц древесной массы достигается более плотная и равномерная укладка, увеличивается поверхность соприкосновения частиц, что приводит к росту количества межмолекулярных взаимодействий. Таким образом, для получения плит средней плотности без связующих веществ из древесных частиц с высокими физико-механическими свойствами необходимо, чтобы древесная пресс-масса обладала повышенной удельной поверхностью, т.к. от нее зависит связообразование (автогезионное взаимодействие) между древесными частицами при получении плит. На основании проведенного теоретического анализа было установлено, что увеличение наружной поверхности древесной массы достигается путем измельчения древесных частиц с одновременным их фибрillированием.

Как известно, древесина представляет собой композиционный материал, состоящий из фибрill, находящихся в аморфной лигно-гемицеллюлозной матрице. Углеводы (целлюлоза и гемицеллюлоза) в матрице соединены за счет водородных связей и сил физического взаимодействия, а углеводы с лигнином – валентными (сложноэфирными) связями. Эти компоненты древесинного вещества имеют различное строение и соответственно различные физико-механические свойства. При разрушении древесины вследствие неоднородности может происходить ее фибрillация, которая проявляется в частичном отделении целлюлозных фибрill от поверхности древесных частиц. Фибрillация позволяет получить новые доступные межфазные поверхности с активными функциональными группами, которые ранее были задействованы в формировании морфологии клеточной стенки древесины. Если разрушение проводить в водной среде, то вскрытые на поверхности древесных частиц гидроксильные и другие полярные группы вступают во взаимодействие с молекулами воды. При удалении воды эти группы способны связывать макромолекулы древесных частиц между собой, что дает возможность получить новые материалы без использования связующих веществ.

Для подготовки древесной массы был принят гидродинамический способ обработки. На рисунке 1 представлен общий вид лабораторной установки.

В результате проведенных исследований было установлено, что гидродинамическая обработка, вне зависимости от вида исходного сырья (древесные опилки, древесная шлифовальная пыль, древесная мука), позволяет повысить автогезионное взаимодействие между древесными частицами в процессе получения плит без связующих веществ.



1 – бак; 2 – запорная арматура (задвижка); 3 – гидродинамический диспергатор; 4 – сливной шаровой кран; 5 – труба циркуляционная; 6 – шаровой кран; 7 – электродвигатель; 8 – рама; 9 – щит управления

Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки

Так механические свойства плит из гидродинамически обработанных древесной шлифовальной пыли и древесной муки повысились более чем в 4 раза в сравнении с плитами из пыли и муки без обработки (рисунок 2), а величина разбухания снизилась более чем в 3 раза.

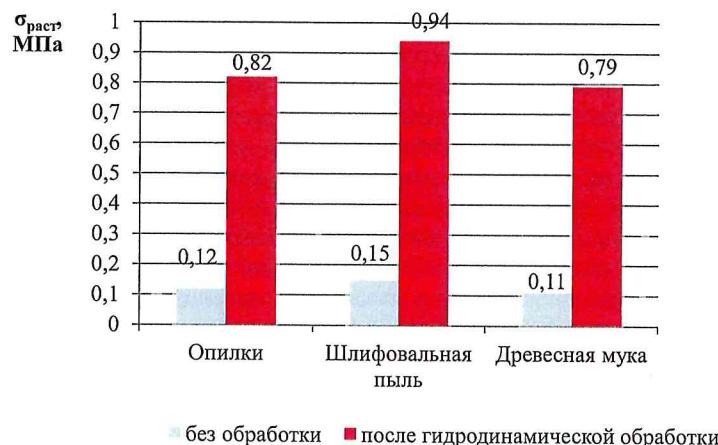
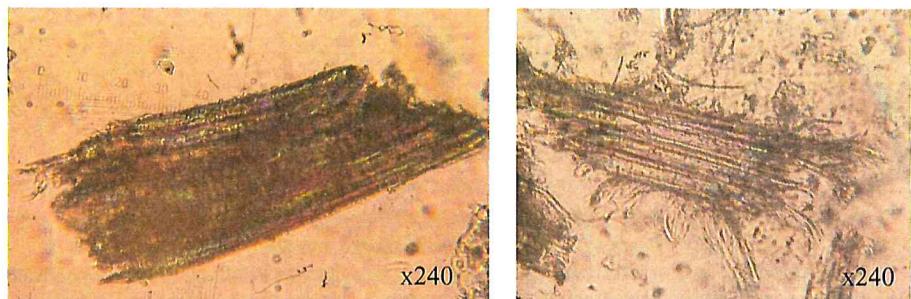


Рисунок 2 - Прочность при растяжении перпендикулярно пласти плит из обработанных и необработанных древесных частиц

Как следует из результатов проведенных исследований, гидродинамическая обработка древесных частиц позволяет качественно изменить свойства древесной массы (рисунок 3). Было установлено, что

автогезионное взаимодействие зависит не только от размера частиц, но и от характера их поверхности: «гладкая» (рисунок 3 а) или «ворсистая» (рисунок 3 б). Безусловно, что во втором случае площадь удельной поверхности будет гораздо больше и соответственно выше автогезионное взаимодействие.



а)

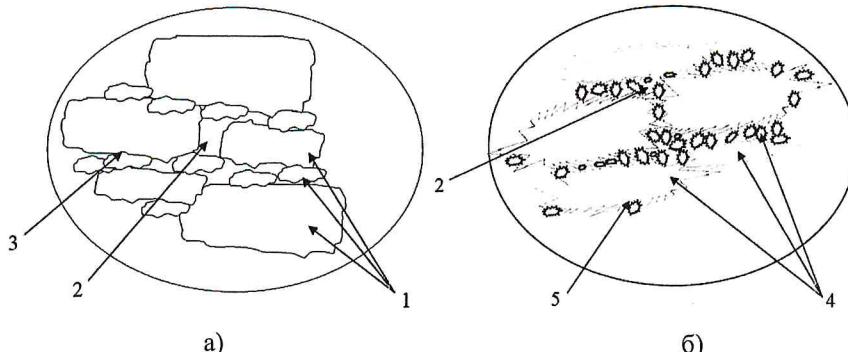
б)

Рисунок 3 – Древесные частицы до (а) и после (б) гидродинамической обработки

В процессе гидродинамической обработки фракционный состав исходных древесных опилок изменяется. Наибольшую долю в общей массе составляли фракции на сите с размером ячейки 100 мкм. На втором месте фракции менее 20 мкм, которые по результатам исследований оказывают существенную роль в структурообразовании плит без связующих веществ. Так, удаление мелкодисперсных частиц из древесной массы приводит к уменьшению показателя предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плит более чем в 4,5 раза и повышению величины разбухания плит по толщине более чем в 4 раза.

На рисунке 4 представлены схемы структуры плит без связующих из обработанных и необработанных древесных частиц. Формирование плит в разрабатываемой технологии осуществляется из древесной массы, состоящей из частиц размером от 100 мкм и более (крупные), от 40 до 100 мкм (средние) и от 40 мкм и менее (мелкие), находящихся в водной среде.

После гидродинамической обработки (рисунок 4 б) за счет фибрillation поверхность древесных частиц характеризуется большей удельной поверхностью, чем частицы до гидродинамической обработки (рисунок 4 а).



а – структура плиты из необработанных частиц; б – структура плиты из гидродинамически обработанных частиц

1 – крупные, средние и мелкие древесные частицы без гидродинамической обработки;
2 - поры; 3 - связообразование между необработанными древесными частицами; 4 - крупные, средние и мелкие древесные частицы после гидродинамической обработки;
5 - связообразование между обработанными древесными частицами

Рисунок 4 - Схемы структуры плит без связующих из обработанных и необработанных древесных частиц

Исходя из полученных данных, структурообразование плит происходит за счет комплекса межмолекулярных сил между древесными частицами с развитой удельной поверхностью.

Также в этом разделе были исследованы физико-химические изменения в водной среде и древесине в процессе гидродинамической активации. Было установлено, что в процессе гидродинамической обработки происходит повышение температуры древесной массы – от 23 °C до 90 °C и образование пероксида водорода (H_2O_2) в количестве 0,034 мг/дм³, что свидетельствует о наличии кавитационных явлений, которые способствуют фибрillированию древесных частиц. При таком способе подготовки происходит изменение химического состава макромолекулярных веществ древесины.

В третьем разделе приводится описание методик проведения экспериментов, подготовки и физико-механических испытаний образцов плит, экспериментальной установки для механоактивации.

В четвертом разделе приведены результаты исследований по определению режимных параметров гидродинамической обработки опилок для изготовления плит без связующих веществ средней плотности.

Для изучения совместного влияния параметров процесса гидродинамической обработки опилок был поставлен двухфакторный эксперимент. В качестве переменных факторов приняты: концентрация опилок – с, %, степень помола древесных частиц - °ШР. Выходными величинами являлись: предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты - $\sigma_{раст}$, МПа; предел прочности при изгибе - $\sigma_{изг}$, МПа;

разбухание по толщине за 24 часа - V, %. Уровни варьирования переменных факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные факторы и уровни их варьирования

Наименование фактора	Нормализованное обозначение	Уровни варьирования			
		нижний уровень	основной уровень	верхний уровень	интервал варьирования
Концентрация, с, %	X ₁	4	6	8	2
Степень помола, °ШР	X ₂	23	44	65	21

В результате обработки экспериментальных данных получены следующие уравнения регрессии с натуральными обозначениями факторов:

предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты
 $\sigma_{раст} = -0,25 + 0,075 \cdot c + 0,017 \cdot ^\circ\text{ШР} - 0,0014 \cdot c \cdot ^\circ\text{ШР}$ ($R^2=93,7\%$); (1)

предел прочности при статическом изгибе
 $\sigma_{изг} = 22,55 - 2,18 \cdot c - 0,11 \cdot ^\circ\text{ШР} + 0,037 \cdot c \cdot ^\circ\text{ШР}$ ($R^2=92,8\%$); (2)

разбухание плит по толщине за 24 часа
 $V = 103,79 - 23,31 \cdot c - 0,31 \cdot ^\circ\text{ШР} + 1,821 \cdot c^2$ ($R^2=94,3\%$). (3)

Все уравнения настоящей работы были проверены на адекватность с помощью F-критерия Фишера. В результате статистической обработки результатов исследований получены коэффициенты уравнения регрессии и проведена оценка их значимости с использованием t-критерия Стьюдента.

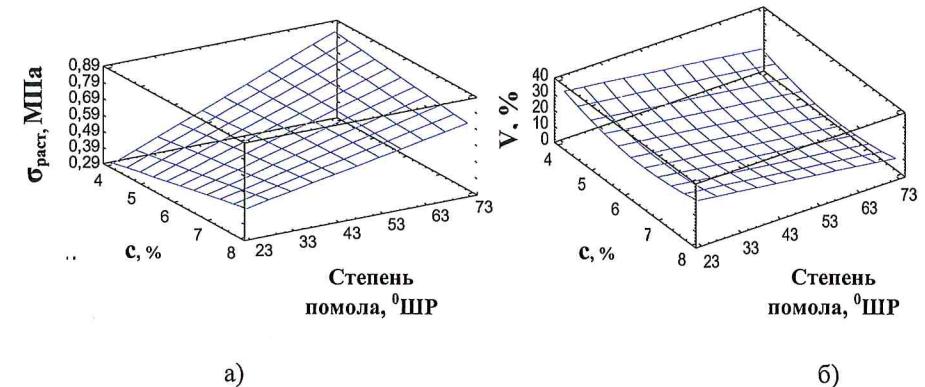


Рисунок 5 – Зависимость прочности при растяжении перпендикулярно пласти (а) и разбухания по толщине плит (б) от степени помола и концентрации опилок

Исследования физико-механических свойств древесных плит показали, что с увеличением степени помола древесных частиц происходит увеличение значений механических свойств плит (рисунок 5 а). Обратная зависимость наблюдается для показателя разбухания по толщине (рисунок 5 б): с увеличением степени помола разбухание плит по толщине снижается. В процессе испытаний было установлено, что образцы плит из массы со

степенью помола 65 °ШР, прошедшие испытания на разбухание по толщине, после высушивания возвращали первоначальные размеры и сохраняли до 100 % прочности. Концентрация опилок в процессе гидродинамической обработки в меньшей степени влияет на физико-механические свойства, чем степень помола.

Для определения оптимального режима гидродинамической обработки была проведена оптимизация при помощи универсального математического процессора MathCAD. В результате были определены оптимальные натуральные значения варьируемых переменных: концентрация опилок $c = 6,4\%$; степень помола 65 °ШР. Плиты без связующих веществ, полученные при оптимальных условиях технологического процесса гидродинамической обработки, имели следующие физико-механические свойства: $\sigma_{раст.} = 0,72 \text{ МПа}$; $\sigma_{изг.} = 16,1 \text{ МПа}$; $V = 10,3\%$.

В пятом разделе приведены результаты исследований по определению технологических параметров горячего прессования для изготовления плит без связующих веществ средней плотности.

Для оценки влияния каждого из переменных факторов: влажность пресс-массы – $W, \%$; температура плит пресса - $T, {}^\circ\text{C}$; удельная продолжительность прессования - $t, \text{мин}/\text{мм}$, на физико-механические свойства плит были проведены следующие экспериментальные исследования (рисунки 6-8).

Влажность пресс-массы варьировалась от 120 до 250 % (с шагом 20 %).

На рисунке 6 представлены результаты экспериментальных исследований – графические зависимости прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты ($\sigma_{раст.}$, МПа), прочности при изгибе ($\sigma_{изг.}$, МПа), разбухания по толщине (V , %) от влажности пресс-массы (W , %).

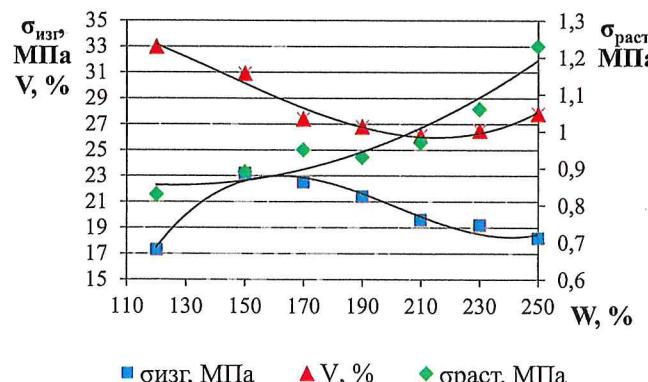


Рисунок 6 – Зависимость прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты ($\sigma_{раст.}$), прочности при изгибе ($\sigma_{изг.}$) и разбухания по толщине (V) от влажности пресс-массы

По кривым предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты и изгиба можно судить о значительном влиянии влажности пресс-массы на показатели прочности плит.

Температура плит пресса варьировалась от 170 до 230 ${}^\circ\text{C}$ (с шагом 15 ${}^\circ\text{C}$).

На рисунке 7 представлены результаты экспериментальных исследований – графические зависимости влияния температуры горячего прессования на показатели прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты, прочности при изгибе, разбухания по толщине.

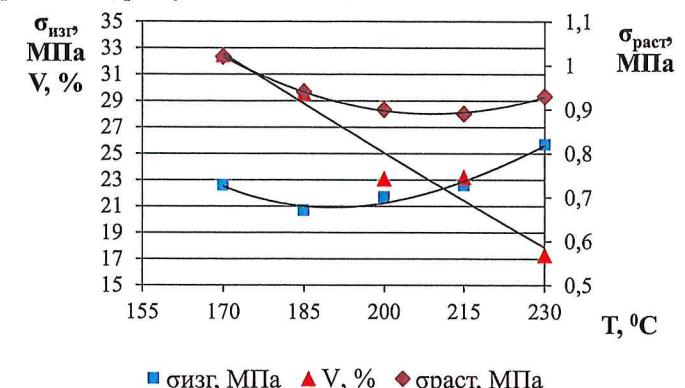


Рисунок 7 – Зависимость прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты ($\sigma_{раст.}$), прочности при изгибе ($\sigma_{изг.}$) и разбухания по толщине (V) от температуры плит пресса

Подъем температуры плит пресса от 185 до 230 ${}^\circ\text{C}$ ведет к увеличению предела прочности при изгибе. Увеличение температуры плит пресса не оказывает существенного влияния на предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плит. Разбухание плит при повышении температуры плит пресса от 170 до 230 ${}^\circ\text{C}$ снижается. Окраска плит без связующих из механоактивированных древесных частиц также зависит от температуры плит пресса во время горячего прессования: при сравнительно невысоких температурах цвет плит почти не отличается от цвета исходной пресс-массы, а с повышением температуры до 230 ${}^\circ\text{C}$ окраска плит изменяется на светло-коричневый.

Удельная продолжительность горячего прессования варьировалась от 2 до 4 мин/мм (с шагом 0,25 мин/мм). На рисунке 8 представлены результаты экспериментальных исследований – графические зависимости влияния удельной продолжительности горячего прессования на физико-механические свойства плит.

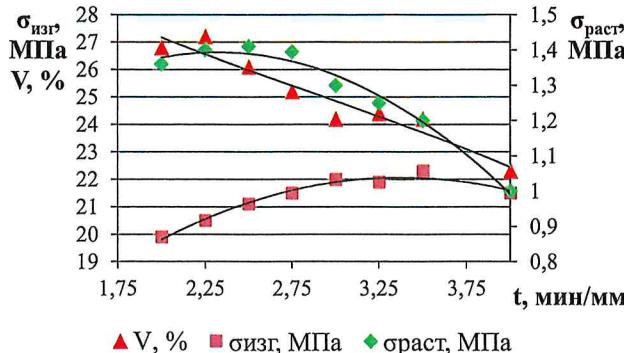


Рисунок 8 – Зависимость прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты ($\sigma_{раст}$), прочности при изгибе ($\sigma_{изг}$) и разбухания по толщине (V) от удельной продолжительности горячего прессования

Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты снижается при увеличении удельной продолжительности горячего прессования от 2,25 мин/мм до 4 мин/мм толщины готовой плиты. Показатели разбухания с увеличением удельной продолжительности горячего прессования снижаются. При увеличении удельной продолжительности с 3 мин/мм до 4 мин/мм толщины готовой плиты цвет плит изменяется на светло-коричневый.

На следующем этапе исследований был реализован многофакторный эксперимент для изучения совместного влияния параметров процесса горячего прессования.

На основании предварительных исследований влияния режимных параметров горячего прессования на физико-механические свойства плит были приняты следующие варьируемые факторы трехфакторного эксперимента (таблица 2) в натуральном и нормализованном обозначении, их уровни и интервалы варьирования.

Таблица 2 - Основные факторы эксперимента и уровни их варьирования

Наименование фактора	Нормализованное обозначение	Уровни варьирования			
		нижний уровень	основной уровень	верхний уровень	интервал варьирования
Влажность пресс массы W, %	X1	170	190	210	20
Температура плит пресса T, °C	X2	180	200	220	20
Удельная продолжительность прессования t, мин/мм	X3	2,3	2,56	2,82	0,26

В качестве выходных величин были приняты качественные показатели готовых плит:

Y_1 - предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты ($\sigma_{раст}$), МПа; Y_2 - предел прочности при изгибе ($\sigma_{изг}$), МПа; Y_3 – разбухание плит по толщине за 24 ч. (V), %.

В результате обработки экспериментальных данных получены следующие уравнения регрессии с натуральными обозначениями факторов:

$$\text{предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плит} \\ \sigma_{раст} = -14,97 + 0,05 \cdot W + 0,03 \cdot T + 6,18 \cdot t - 0,0001 \cdot W \cdot T - 0,013 \cdot W \cdot t \\ - 0,004 \cdot T \cdot t - 0,61 \cdot t^2 \quad (R^2=97,3 \%) \quad (4)$$

$$\text{предел прочности при изгибе} \\ \sigma_{изг} = -20,93 + 2,68 \cdot W - 1,91 \cdot T - 18,71 \cdot t - 0,006 \cdot W^2 - 0,002 \cdot W \cdot T \\ + 0,005 \cdot T^2 + 0,12 \cdot T \cdot t \quad (R^2=96,5 \%) \quad (5)$$

$$\text{разбухание плит по толщине за 24 часа} \\ V = -67,03 - 0,19 \cdot T + 104,59 \cdot t - 21,01 \cdot t^2 \quad (R^2=94,5 \%) \quad (6)$$

Анализ полученных результатов (рисунок 9 а) указывает на то, что при увеличении влажности пресс-массы и снижении продолжительности прессования прочность при растяжении перпендикулярно к пласти плиты увеличивается. Это, вероятно, вызвано тем, что в процессе прессования при максимальной влажности пресс-массы содержание воздуха в ней минимально, поэтому при удалении воды и сближении древесных частиц внутри и между ними возникает больше межмолекулярных связей, чем при меньшей влажности пресс-массы. Снижение прочности при максимальной влажности при увеличении продолжительности прессования может быть вызвано протеканием процесса гидролиза центральной части плиты с деструкцией молекулярных цепей целлюлозы и ослабление их поперечных связей. Температура прессования на прочность при растяжении перпендикулярно к пласти плиты не оказывает существенного влияния (рисунок 9 б).

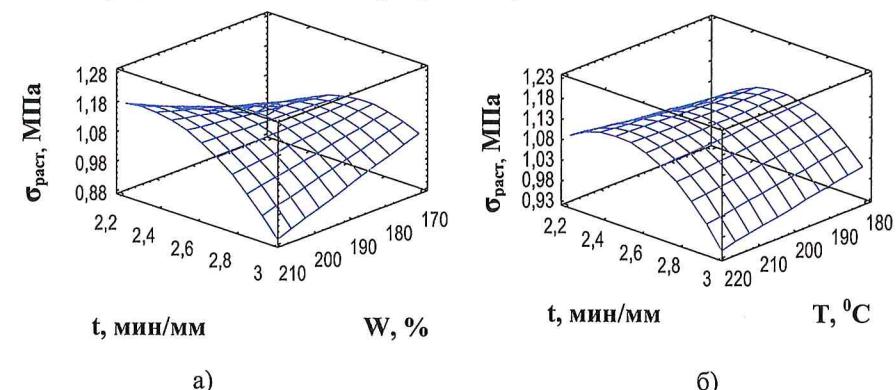


Рисунок 9 – Зависимость значений прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты от влажности пресс-массы и удельной продолжительности прессования (а); температуры плит пресса и удельной продолжительности прессования (б)

На показатель прочности при изгибе (рисунок 10 а) плит наиболее значимое влияние оказывает температура прессования. Так, с увеличением температуры до среднего уровня варьирования прирост прочности минимальный, а при дальнейшем повышении температуры наблюдается крутое возрастание показателя прочности. Влияние влажности пресс-массы на предел прочности при изгибе носит экстремальный характер, с максимальным показателем прочности, близким к основному уровню варьирования. Повышение удельной продолжительности прессования способствует увеличению предела прочности на изгиб (рисунок 10 б). Наибольшее значение прочности при изгибе достигается при максимальных значениях температуры и удельной продолжительности прессования.

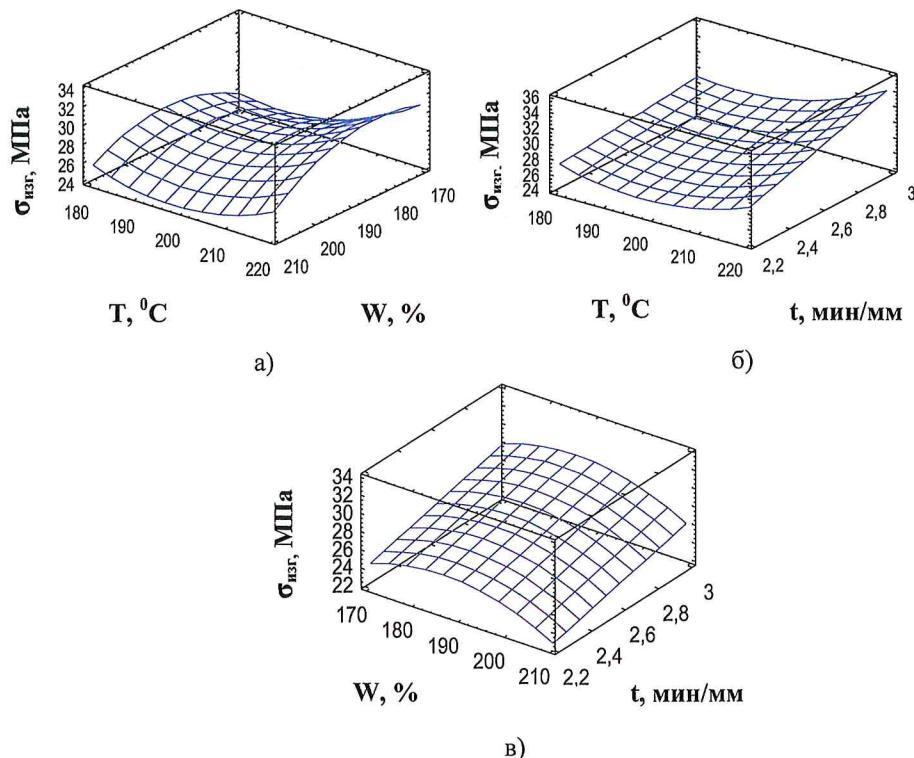


Рисунок 10 – Зависимость предела прочности плит без связующих при изгибе от влажности пресс-массы и температуры прессования (а); температуры и удельной продолжительности прессования (б); влажности пресс-массы и удельной продолжительности прессования (в)

Разбухание по толщине (рисунок 11) определяется значениями температуры и удельной продолжительностью прессования. С увеличением температуры величина разбухания снижается, достигая минимального значения

при максимальной температуре. Наименьшим разбуханием характеризуются плиты, полученные при максимальных значениях температуры и удельной продолжительности. Это, вероятно, связано с интенсивной пьезотермической обработкой наружных слоев плит, в результате которой происходит образование физико-химических связей с высокой энергией взаимодействия, устойчивых к воздействию воды.

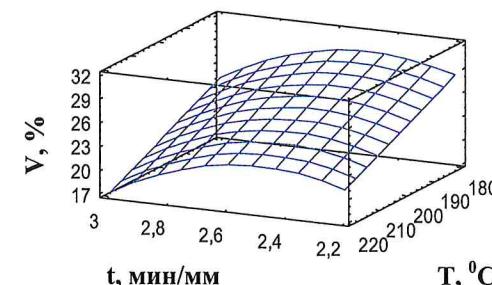


Рисунок 11 – Зависимость разбухания по толщине плит без связующих от температуры и удельной продолжительности прессования

Для поиска оптимальных значений факторов горячего прессования была проведена оптимизация при помощи универсального математического процессора MathCAD.

Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты выбран в качестве целевой функции ($\sigma_{раст} \rightarrow \max$) при соблюдении следующих ограничений:

$$\begin{aligned}\sigma_{изг} &\geq 32 \text{ МПа}; V \leq 21\%; 170\% \leq W \leq 210\%; 180^{\circ}\text{C} \leq T \leq 220^{\circ}\text{C}; \\ 2,3 \text{ мин}/\text{мм} &\leq t \leq 2,82 \text{ мин}/\text{мм}.\end{aligned}$$

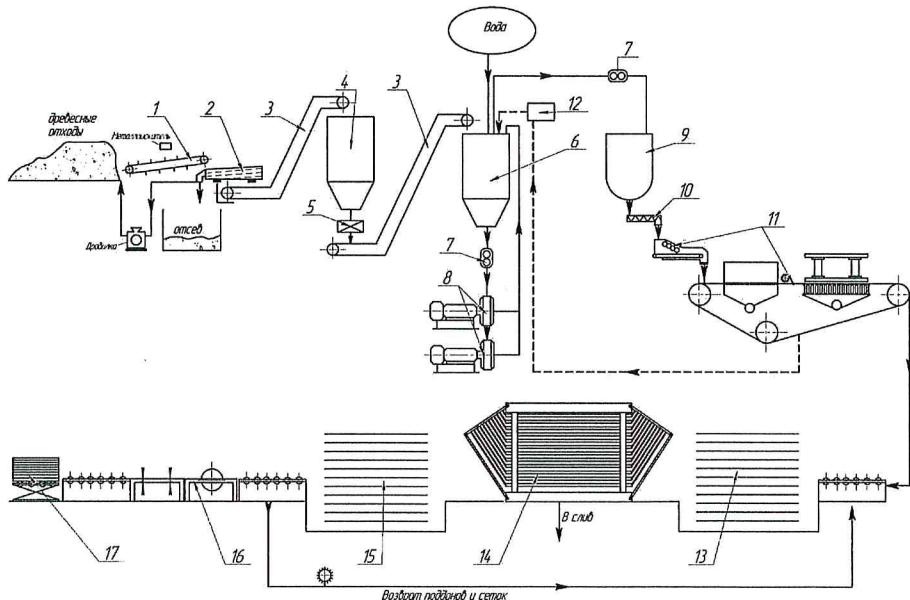
В результате решения поставленной задачи были определены оптимальные натуральные значения варьируемых переменных для процесса прессования плит без связующих: влажность пресс-массы $W = 170\%$; температура плит пресса $T = 220^{\circ}\text{C}$; удельная продолжительность горячего прессования $t = 2,76 \text{ мин}/\text{мм}$.

При этом выходные параметры принимают следующие значения: $\sigma_{раст} = 1,14 \text{ МПа}$; $\sigma_{изг} = 32,14 \text{ МПа}$; $V = 21\%$.

Плиты без связующих веществ, полученные при оптимальных условиях технологического процесса прессования, имели следующие физико-механические свойства: $\sigma_{раст} = 1,1 \text{ МПа}$; $\sigma_{изг} = 30,4 \text{ МПа}$; $V = 23\%$.

В шестой главе разработана схема технологического процесса производства плит без связующих веществ из механоактивированных измельченных отходов деревообработки (рисунок 12), а также проведен предварительный расчет производительности цеха по выпуску плит и оценка себестоимости готовой продукции, которая составила 6990 руб./м³.

В этой главе проведен сравнительный анализ древесных плит, который показал, что плиты без связующих веществ по физико-механическим свойствам сопоставимы с существующими плитными материалами. В сравнении с ДВП и МДФ плиты без связующих отличаются экологической безопасностью на всех этапах жизненного цикла материала, а также отсутствием необходимости использовать ликвидное древесное сырье для производства. Эти и другие особенности плит без связующих позволяют использовать их в производстве мебели, тары для продуктов питания и др.



1 – скребковый конвейер; 2 – механическая сортировочная машина; 3 – ленточный транспортер; 4 – бункер сырых опилок; 5 – дозирующее устройство; 6 – смеситель опилок с водой; 7 – центробежный насос; 8 – гидродинамический диспергатор; 9 – бункер подачи пульпы; 10 – шnekовый дозатор; 11 – отливная машина; 12 – вода из системы рециркуляции; 13 – загрузочная этажерка; 14 – горячий пресс; 15 – разгрузочная этажерка; 16 – форматно-обрезной стол; 17 – стопа готовых плит

Рисунок 12 - Технологическая схема производства плит без связующих веществ из механоактивированных измельченных отходов деревообработки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Доказано, что гидродинамическая обработка позволяет существенно изменить размерно-качественные характеристики древесных частиц. При этом происходит измельчение данных частиц с одновременным их фибрillированием. Это позволяет увеличить поверхности контактов между

древесными частицами. Это создает условия для структурообразования плит без связующих веществ.

2. Определено, что в процессе гидродинамической обработки происходят кавитационные явления, а также изменения химического состава макромолекулярных веществ древесины.

3. Исследования показали, что с увеличением степени помола древесных частиц происходит рост предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти и предела прочности при статическом изгибе. При этом разбухание по толщине с увеличением степени помола снижается. Установлено, что плиты из древесной массы со степенью помола 65 °ШР, прошедшие испытания на разбухание по толщине, после высушивания возвращали первоначальные размеры и сохраняли до 100 % прочности. Концентрация опилок в процессе гидродинамической обработки в меньшей степени влияет на физико-механические свойства плит, чем степень помола.

4. Установлены оптимальные значения технологических параметров гидродинамической обработки древесных частиц в экспериментальной установке: концентрация опилок 6,4 %, степень помола 65 °ШР.

5. По результатам исследований было выявлено, что высокое аутогезионное взаимодействие в процессе горячего прессования плит из древесной массы, подготовленной гидродинамическим способом во многом обусловлено наличием мелких фибрillированных древесных частиц. Наличие данных частиц способствует увеличению удельной поверхности древесной массы, на которой между древесными частицами образуются аутогезионные связи. Разработана схема структуры плиты без связующих веществ из древесных частиц после гидродинамической активации.

6. Получены оптимальные значения технологических параметров горячего прессования: влажность пресс-массы - 170 %, температура плит пресса - 220 °С, удельная продолжительность прессования - 2,76 мин/мм, при которых плиты обладали следующими физико-механическими свойствами: предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты - 1,14 МПа, предел прочности при изгибе - 30,4 МПа, разбухание по толщине за 24 ч - 23 %.

7. Разработана технологическая схема производства плит средней плотности без адгезивов из механоактивированных древесных частиц.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus

- Ermolin V. N., Bayandin M. A., Kazitsin S. N. (2016) Mechanical Activation of Wood for Adhesive-free board Production. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, 155 (1), pp. 1-4. doi:10.1088/1757-899X/155/1/012038.

Статьи в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ

2. Баяндин М. А. Влияние мелкодисперсных фракций на формирование свойств древесных плит без связующих / М. А. Баяндин, В. Н. Ермолин, С. Н. Казицин, С. Г. Елисеев // Хвойные Бореальные Зоны. – 2015. – Том XXXIII. – № 3-4. – С. 182 – 185.

3. Казицин С. Н. Разработка режима горячего прессования плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц / С. Н. Казицин, В. Н. Ермолин, М. А. Баяндин, А. В. Намятов // Хвойные Бореальные Зоны. – 2016. – Том XXXVII. – № 5-6. – С. 315 – 318.

В других научных изданиях:

4. Баяндин М. А. Влияние армирования на свойства древесных плит без связующих / М. А. Баяндин, С. Г. Елисеев, С. Н. Казицин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – Вып. 3. – Часть 3. – С. 137-139.

5. Казицин С. Н. Влияние способов подготовки древесиной массы на свойства плитных материалов / С. Н. Казицин, М. А. Баяндин, В. Н. Ермолин // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск: ФГБОУ ВО «СибГТУ», 2014. – С. 81-84.

6. Баяндин М. А. Влияние породного состава на физико-механические свойства плитных материалов из активированных опилок / М. А. Баяндин, С. Г. Елисеев, С. Н. Казицин // Ресурсо - и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы международной научно-технической конференции. – Минск: БГТУ, 2014. – С. 135 – 137.

7. Казицин С. Н. Влияние плотности плит без связующих на показатели их водостойкости / С. Н. Казицин, А. В. Намятов, В. Н. Ермолин // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием): сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ, 2015. – С. 118-122.

8. Баяндин М. А. Влияние мелких фракций на свойства древесных плит без связующего / М. А. Баяндин, С. Н. Казицин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж: ВГЛТУ, 2015. – № 9. – Ч.2 (20-2). – С. 18-22.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направить по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Учёному секретарю диссертационного совета Д 212.281.02, e-mail: d21228102@yandex.ru

Подписано в печать 17.01.2018.

Формат 60×84 1/16. Изд. № 12/2.

Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 1,25.

Заказ № 2691

Отпечатано в РИЦ СибГУ им. М.Ф. Решетнева

660049, г. Красноярск, ул. Ленина, 69

Тел. (391) 227-69-90, факс (391) 211-97-25