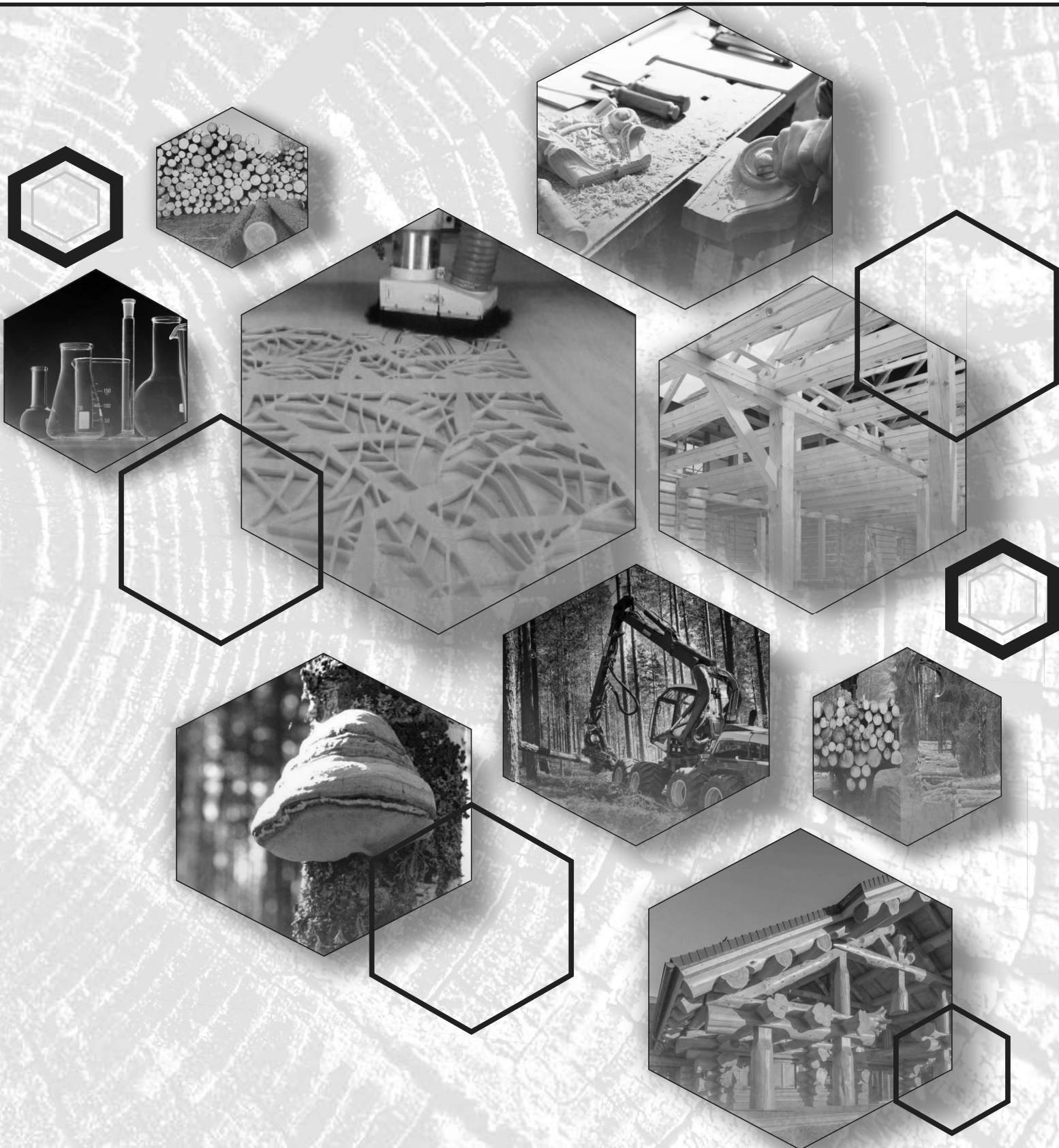


Дерево

ISSN 0011-9008

1/2022

обрабатывающая промышленность



ДЕРЕВО —

ISSN 0011-9008

обрабатывающая 1/2022 промышленность

Учредитель: Редакция журнала
«Деревообрабатывающая промышленность»
Основан в апреле 1952 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по группе научных специальностей 05.21.00 – Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева.

Редакционная коллегия:



Главный редактор
Сафин Руслан Рушанович
д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технологический
университет»

Торопов Александр Степанович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Царев Евгений Михайлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Черных Михаил Михайлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет
им. Калашникова»



Зам. главного редактора
Разумов Евгений Юрьевич
д.т.н., профессор

Czech University of Life Sciences Prague,
Faculty of Forestry and Wood Sciences,
Czech Republic



Зам. главного редактора
ответственный за
международную ред. коллегию
Štefan Barcik, Prof. ing., Ph.D.

Technical university in Zvolen,
Faculty of environmental and
manufacturing technology,
Slovakia

Сафин Рушан Гареевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Баширов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Хасанишин Руслан Ромелевич, д.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Гаспарян Гарик Давидович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»

Григорьев Игорь Владиславович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Арктический государственный
агротехнологический университет»

Мазуркин Петр Матвеевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Романов Евгений Михайлович, д.с.-х.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Рыкунин Станислав Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

Семенов Юрий Павлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

Dr. prof. Vlado Goglia
University of Zagreb, Croatia

Dr. prof. Ruzica Beljo Lucic
University of Zagreb, Croatia

Dr. prof. Nencho Delijski
University of Forestry, Bulgaria

Dr. prof. Ladislav Dzurenda
Technical University, Slovakia

Dr. prof. Etele Csanady
University of West Hungary

Dr. prof. Alfred Teischinger
BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences,
Austria

Marian Babiak, PhD, Dr.h.c.prof.RNDR.
Czech University of Life Sciences Prague,
Czech Republic

Dr. PhD Monica Sarvasova Kvietkova
Czech University of Life Sciences Prague,
Czech Republic

Адрес редакции:
117303, Москва, ул. Малая
Юшуньская, д. 1, корп. 1,

journal_woodworking@mail.ru
www.dop1952.ru

© «Редакция журнала
«Деревообрабатывающая
промышленность», 2022

Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомпечати № 014990
Формат бумаги 60x88/8
Тираж 720 экз.

СОДЕРЖАНИЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Лесоинженерное дело

Ахтямов Э.Р., Кручинин И.Н., Побединский В.В., Кручинина Е.И., Чижов А.А.

Разработка требований к применению добавок из вспученного вермикулита для строительства лесовозных дорог на территориях северного, приполярного и полярного урала

3

Жалко М.Е., Бургонутдинов А.М., Бурмистрова Д.Д., Ченушкина С.В., Данилов В.В.

Разработка методов повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог, работающих в сложных природно-климатических условиях

10

Жалко М.Е.

Повышение морозоустойчивости дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог

18

Физико-механические процессы в деревообработке

Лукаш А.А., Глотова Т.И., Малышева Н.П., Пустрова Н.П., Чернышев О.Н.

Экспресс-метод определения себестоимости продукции при расчете технико-экономических показателей деревообрабатывающих цехов

24

Разумов Е.Ю., Байгильдеева Е.И., Сафина А.В., Сафин Р.Г.

Получение бетулина высокой степени очистки

33

Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Хабибуллина А.Р., Байгильдеева Е.И.

Физико-механические характеристики композиционных материалов из древесины березы, гидролизованной в присутствии перекиси водорода

41

Лукаш А.А., Глотова Т.И., Романов В.А., Феллух А., Чернышев О.Н.

Определение прочности склеивания при нормальном отрыве для разработки новых клеевых составов

55

Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б., Арсланова Г.Р., Валеев К.В., Зиятдинова Д.Ф., Гурьянов Д.А.

Математическое описание процесса экстракции фенольных соединений

62

Артёмов А.В., Ершова А.С., Бурындин В.Г., Савиновских А.В.

Изучение изменений прочностных показателей пластиков без связующего по потери массы при биоразложении

71

Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Тимербаев Н.Ф., Валеев К.В.

Моделирование процесса извлечения бетулина из бересты березы

80

Химическая технология древесины

Строганова М.С., Жильникова Н.А.

Методика оценки самоочищающей способности водоема при влиянии стоков сульфат-целлюлозного производства

90

Чирков Д.Д., Захаров П.С., Шкуро А.Е., Ершова А.С.

Термомеханическая активация наполнителей для древесно-минеральных полимерных композиционных материалов

103

УДК 674.8:674.049.2:542.973

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ, ГИДРОЛИЗОВАННОЙ В ПРИСУТСТВИИ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА

Ю.Г. Скурыдин, Е.М. Скурыдина, А.Р. Хабибуллина, Е.И. Байгильдеева

Исследованы физико-механические характеристики плитных композиционных материалов, полученных из древесины березы после ее обработки методом взрывного автогидролиза в присутствии катализатора. В качестве катализатора гидролиза использована перекись водорода, взятая в количестве от 0,165 до 33% к массе исходной древесины. В водном растворе катализатора осуществлялось предварительное замачивание древесной щепы перед баротермической обработкой. Композиционные материалы изготавливались из гидролизованной древесной массы методом горячего прессования без добавления связующих веществ.

Получены зависимости плотности, прочности на изгиб, водопоглощения и разбухания образцов композиционных материалов от количества использованного катализатора. Обнаружено, что применение пероксида водорода на предварительной стадии гидролиза способствует значительным изменениям в структуре древесной массы и оказывает влияние на физико-механические свойства получаемых из нее композиционных материалов. Свойства материала зависят от количества катализатора и жесткости условий баротермической обработки. Увеличение содержания пероксида водорода в растворе для замачивания щепы первоначально сопровождается пропорциональным увеличением плотности и прочностных характеристик. Для большинства из выбранных режимов баротермической обработки характерно наличие предельного значения количества катализатора, при котором плотность получаемого композиционного материала достигает максимума (насыщения). Дальнейшее увеличение количества катализатора не приводит к увеличению степени дисперсности получаемой волокнистой массы и увеличению плотности получаемых из нее композиционных материалов. Увеличение плотности и прочности материала по сравнению с материалом, получаемым без применения катализатора, составляет до 80% в зависимости от условий баротермической обработки и количества катализатора. Гидрофобные характеристики улучшаются до 100%. Увеличение прочностных характеристик пропорционально увеличению содержания перекиси водорода лишь до определенной концентрации. Для композиционного материала, полученного в присутствии пероксида водорода, характерно наличие точек экстремума, в которых значения прочности при изгибе являются максимальными. Дальнейшее увеличение количества катализатора приводит к ухудшению прочностных характеристик, что является следствием доминирования деструктивных процессов над процессами межмолекулярной сшивки. Обнаруженные эффекты могут быть использованы в процессе оптимизации технологических режимов получения композиционных материалов на основе древесины березы, подвергнутой баротермической обработке методом взрывного автогидролиза.

Ключевые слова: композиционный материал, древесина, гидролиз, перекись водорода.

Введение

Проблема использования крупнотоннажных отходов растительного происхождения с получением на их основе тех или иных материалов, пригодных для коммерческого применения, остается актуальной и в наши дни. До настоящего времени сжигание или накопление на мусорных полигонах отходов лесопереработки и сельского растениеводства остается обычной практикой. Одним из направлений применения отходов подобного рода является получение на их основе композиционных материалов конструкционного назначения, в том числе, обладающих улучшенными свойствами по сравнению с традиционными аналогами. Получение древесных композиционных материалов с заданными свойствами, определяющими возможность их применения в заданных условиях эксплуатации, требует разработки прогнозных моделей, на основе которых могут быть выбраны технологические режимы.

Один из вариантов получения композиционных материалов из сырья растительного происхождения основан на использовании метода взрывного автогидролиза. На первой стадии материал растительного происхождения подвергается гидролитическому действию в кислой среде насыщенного водяного пара. На второй – горячему прессованию разволокненного гидролизованного лигноцеллюлозного вещества в

композиционный материал. Получение композиционных материалов может осуществляться без применения связующих веществ [18, 20].

Взрывной автогидролиз представляет собой одну из разновидностей процесса гидролитической обработки лигноцеллюлозных материалов, способствующую деполимеризации лигнина и гемицеллюлоз, разделению древесины на волокна. Метод основан на обработке растительного сырья в герметичном сосуде под давлением в среде насыщенного водяного пара в течение заданного времени, после чего выполняется резкий сброс давления до атмосферного с выбросом обрабатываемого материала в приемное устройство [3, 10, 12-14, 18]. Следствием глубоких гидролитических превращений древесной ткани в процессе обработки паром становится появление в ее составе новых низкомолекулярных компонентов и значительные изменения в морфологической структуре.

История процессов обработки лигноцеллюлозной биомассы с использованием гидролизующих агентов и перегретого пара под давлением для получения различных биоматериалов насчитывает около ста лет. Первые промышленные системы, предназначенные для обработки древесной массы методом взрывного автогидролиза, были разработаны в 1920-х годах [14, 15]. В последние годы возрастает интерес к различным методам дополнительной обработки лигноцеллюлозных материалов гидролизующими веществами непосредственно перед стадией взрывного автогидролиза. Процесс подобной предварительной подготовки может оказывать значительное влияние на всех последующих этапах обработки материала, и, в конечном итоге, определять качественный и количественный состав получаемого продукта и его стоимость [17]. Ряд исследований последних лет говорят о повышенном внимании к изучению действия катализаторов на кинетику гидролитических процессов при взрывном автогидролизе, а также к составу и характеристикам получаемых компонентов [2, 5, 7, 19, 21]. Преимущественно подобные исследования проводятся в рамках проектов разработки технологий получения биотоплива на основе лигноцеллюлозных материалов. При этом следует предполагать, что использование катализаторов гидролиза может способствовать совершенствованию процессов получения иных, нежели биотопливо, веществ и материалов на основе метода высокотемпературного автогидролиза, в том числе, композиционных материалов.

В качестве катализаторов гидролиза в системах паровзрывной обработки могут быть использованы разные реагенты – кислоты, основания или иные катализаторы – все они в той или иной степени способны ускорять гидролитические реакции. В зависимости от вида используемого лигноцеллюлозного сырья, вида катализатора, его количества, а также условий баротермической обработки, степень гидролиза, количественный и качественный состав получаемой волокнистой массы могут существенно отличаться. Изучались различные варианты предварительной обработки лигноцеллюлозных материалов гидролизующими веществами [6-8, 19, 21]. Однако, до настоящего времени не имеется какого-то единого «совершенного» процесса подготовки, оптимального для любых типов лигноцеллюлозного сырья и любых видов целевой продукции. Поэтому выбор используемого гидролизующего агента должен осуществляться, прежде всего, с учетом цели проведения гидролиза и требований к продукции, получаемой на его основе. При этом можно говорить о ряде требований к катализаторам гидролиза, которые следует рассматривать как универсальные, безотносительно большинства целей применения получаемой при гидролизе продукции [9]. Например, их применение не должно быть сопряжено со значительными капитальными и эксплуатационными затратами, чрезмерной интенсификацией процессов коррозии технологического оборудования. Урон, оказываемый окружающей среде, должен быть минимальным, и определяться либо процессами последующей регенерации, либо разложением катализатора на безвредные составляющие. При этом процессы регенерации должны происходить с минимальным ухудшением свойств исходных реагентов. Кроме того, используемые вещества должны быть доступны, пригодны к обработке лигноцеллюлозного сырья различных видов, соответствовать по компонентному составу и степени дисперсности с минимальными требованиями к дальнейшим стадиям процесса получения конечного продукта.

Целью представленной работы является изучение влияния предобработки древесины березы пероксидом водорода на физико-механические характеристики композиционных материалов, получаемых из нее после баротермической обработки методом взрывного автогидролиза. Традиционно перекись водорода используется в процессах отбеливания волокон при производстве целлюлозы и бумаги [1]. При этом о применении данного вещества в качестве реагента для улучшения физико-механических характеристик иных материалов, получаемых на основе гидролизованной древесины, известно сравнительно немного. Подобным примером может служить использование перекиси водорода

в качестве компонента катализатора гидролитических процессов при получении абсорбирующего материала [4]. Добавление в исходный лигноцеллюлозный материал перекиси водорода влияет на кинетику процессов деполимеризации лигнина и гидролиза гемицеллюлоз. Материал растительного происхождения, подвергаемый гидролизу в ее присутствии, оказывается более «податливым» воздействию среды перегретого пара. Обработка в подобных условиях позволяет существенно смягчить условия взрывного автогидролиза, не ухудшая характеристик получаемых материалов [11]. Применение разных условий баротермической обработки древесины – продолжительности процесса и его температуры, а также температуры и давления прессования композиционных материалов – определяют возможность изменять их свойства в широких пределах.

Материалы и методы

Процесс получения композиционных материалов, исследованных в представленной работе, осуществляется следующим образом. В качестве исходного сырья использована воздушная щепа березы со средним размером частиц около $5 \times 15 \times 25$ мм³. Предварительная обработка древесной щепы выполнена посредством замачивания в водном растворе перекиси водорода, взятой в количестве 0,165 - 33,0 м.ч. / 100 м.ч. древесины в пересчете на «сухое» вещество H₂O₂. Объем раствора всякий раз был доведен до соотношения 1/1 по массе к массе исходной древесины. Температура обработки около 293К, продолжительность – 60 минут.

После водно-перекисной обработки щепа помещалась в реактор лабораторной установки взрывного автогидролиза периодического действия, где подвергалась баротермической обработке в среде насыщенного водяного пара при заданной температуре в течение заданного времени. Температура обработки в серии составляла от 443 до 463К, продолжительность – от 5 до 15 минут. Фактор жесткости процесса, рассчитываемый по методике [16], для разных режимов обработки соответствовал диапазону R0 от 575 до 4466 мин. По завершении процесса баротермической обработки, в течение не более чем 1 секунды осуществлялся сброс давления в реакторе установки до атмосферного, с выбросом гидролизованного материала в приемное устройство. Полученный материал подвергался высушиванию до воздушно-сухого состояния в помещении при температуре 293К в условиях естественной вентиляции. Процесс горячего прессования композиционного материала осуществлялся в разборной пресс-форме при температуре 423К и удельном давлении 5МПа. Продолжительность прессования после достижения целевой температуры составляла около 1 мин/1 мм толщины плитного материала. Прессование выполнялось без введения в пресс-массу связующих веществ.

Определение плотности, прочности при статическом изгибе, водопоглощения и разбухания за 24 часа выполнено по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ 10634-88, ГОСТ 10635-88, ГОСТ 10633-2018. Определено влияние условий баротермической обработки древесины в присутствии катализатора гидролиза на физико-механические свойства получаемого плитного композиционного материала. По материалам исследования получены зависимости плотности, прочности на изгиб и гидрофобных характеристик для различных условий баротермической обработки и разных количеств катализатора. Серия экспериментов направлена на поиск механизмов оптимизации процесса получения плитных композиционных материалов из гидролизованной древесины, обладающих заданными характеристиками.

Результаты и обсуждение

На рисунках 1-8 показаны зависимости плотности и прочности композиционных материалов при статическом изгибе от количества перекиси водорода, добавляемой в древесину перед проведением баротермической обработки. Все зависимости получены в разных условиях жесткости процесса автогидролиза. Установлено, что при разных условиях жесткости для всех зависимостей характерно первоначально резкое увеличение плотности композиционного материала от количества используемого катализатора. После достижения определенного значения плотности, дальнейшего ее увеличения с увеличением количества перекиси водорода для всех условий баротермической обработки не наблюдается. Обнаруженный эффект является прямым следствием интенсификации гидролитических превращений в компонентах древесины при увеличении концентрации используемого катализатора. При этом для каждого из условий баротермической обработки свойственно наличие порогового значения концентрации катализатора, при достижении которого обеспечивается максимально возможная для данных условий степень дисперсности гидролизованного древесного вещества. Дальнейшего увеличения

степени дисперсности не происходит. Соответственно плотность получаемого из такой волокнистой массы композиционного материала не увеличивается.

Зависимости прочностных характеристик имеют иной характер. Значение прочности оказывается прямо пропорциональным плотности лишь при относительно небольших количествах используемого катализатора. В то время, как с увеличением содержания перекиси водорода при любых вариантах условий баротермической обработки плотность композиционных материалов увеличивается до определенного предела, прочность, достигнув максимума, с дальнейшим увеличением количества катализатора начинает уменьшаться. Наиболее вероятно, что обнаруженный эффект обусловлен активизацией процессов деструкции компонентов древесного вещества при использовании больших количеств перекиси водорода. При этом деструктивным изменениям подвержены прежде всего компоненты, ответственные за формирование конденсационных связей в будущем композиционном материале – продукты гидролиза гемицеллюлоз и лигнина.

Каждому из условий баротермической обработки соответствует экстремум на графике зависимости прочности от количества используемого катализатора гидролиза. Количество перекиси водорода, определяющее получение композиционного материала с максимальным значением прочностного показателя, уменьшается с увеличением продолжительности баротермической обработки или ее температуры (рис. 9). В выполненной серии экспериментов максимальная прочность композиционного материала при минимальном значении количества катализатора достигается при температуре баротермической обработки 463K в течение 10 минут ($R_0 = 4466$ мин). Близкий эффект достигается и при температуре 453K, но продолжительность паровой обработки должна быть увеличена не менее чем до 15 минут ($R_0 = 3400$ мин).

Максимальные прочностные показатели композиционного материала достигаются при использовании катализатора гидролиза, взятого в количестве от 5 до 24 м.ч. Примечательно, что в мягких условиях баротермической обработки, например, при температуре 443K и продолжительности 5-10 минут ($R_0 = 575$ -1150 мин), влияние перекиси водорода становится заметным при содержании свыше 3 м.ч. Следствием дальнейшего увеличения содержания перекиси является резкая интенсификация процесса увеличения как плотности, так и механической прочности. Максимальные прочностные показатели обеспечиваются при существенно меньшем количестве используемого катализатора. В целом, зависимость прочностного показателя композиционного материала от фактора жесткости процесса взрывного автогидролиза носит характер, близкий к линейному (рис. 9).

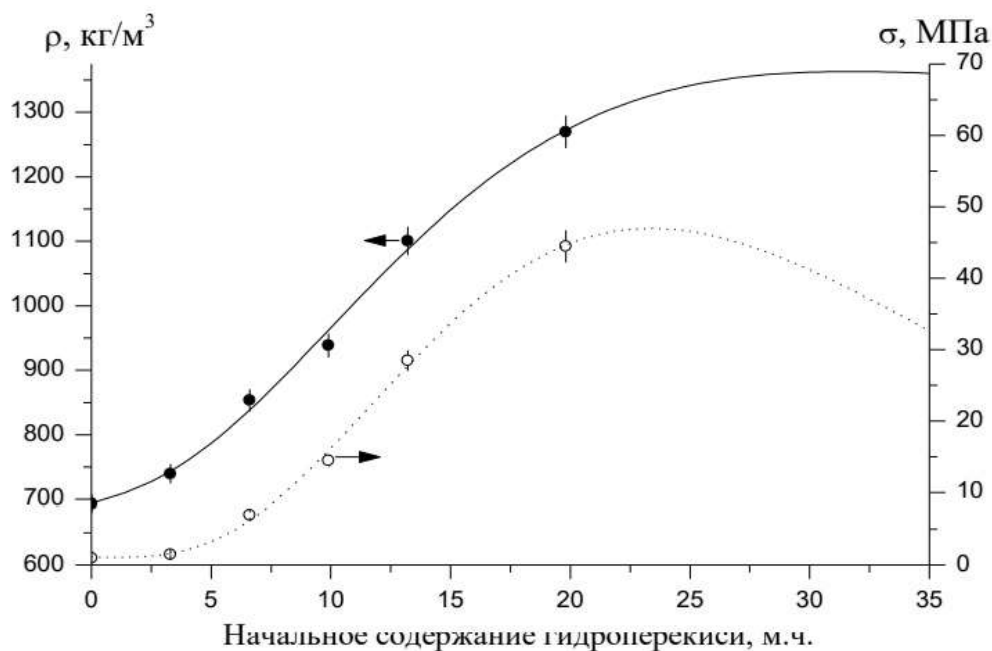


Рис. 1. Зависимость плотности и прочности композиционного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 5 мин при 443K ($R_0=575$ мин))

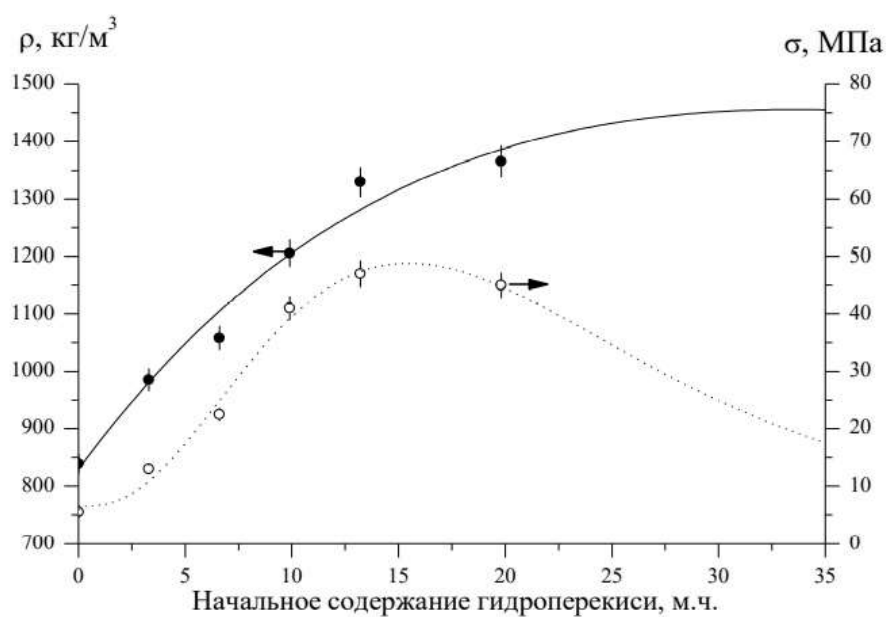


Рис. 2. Зависимость плотности и прочности композитного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 5 мин при 453K ($R_0=1133$ мин))

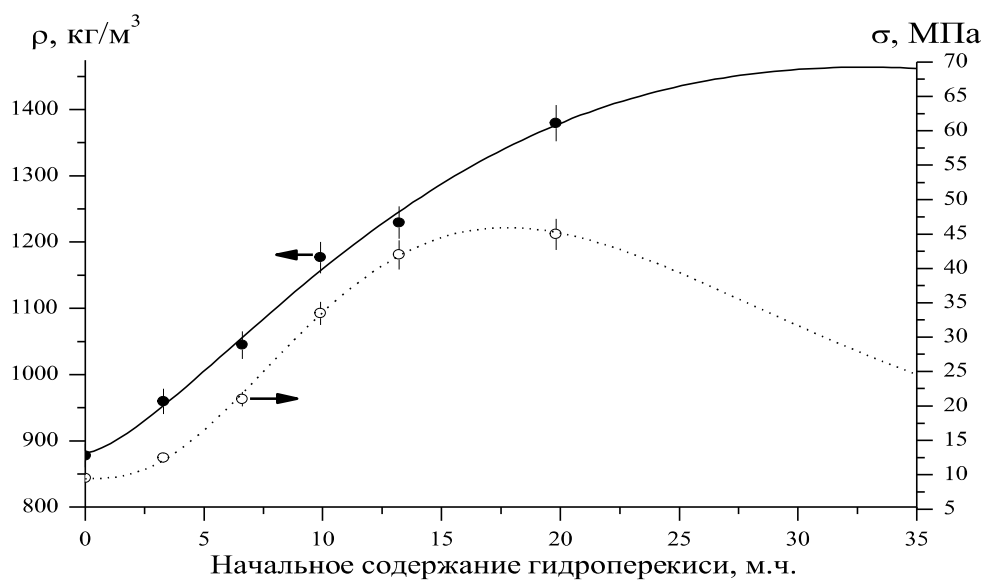


Рис. 3. Зависимость плотности и прочности композитного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 10 мин при 443K ($R_0=1151$ мин))

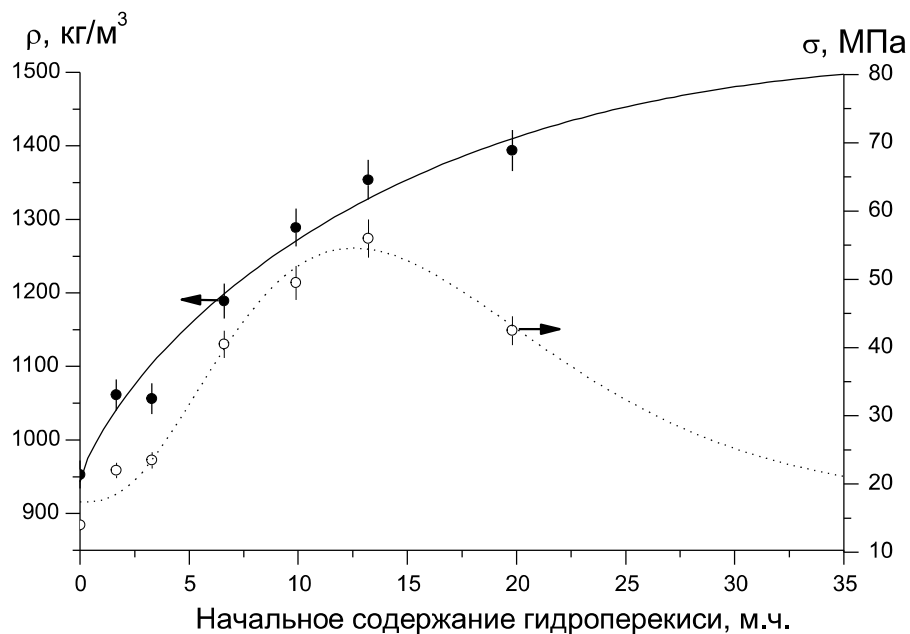


Рис. 4. Зависимость плотности и прочности композитного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 15 мин при 443K ($R_0=1726$ мин))

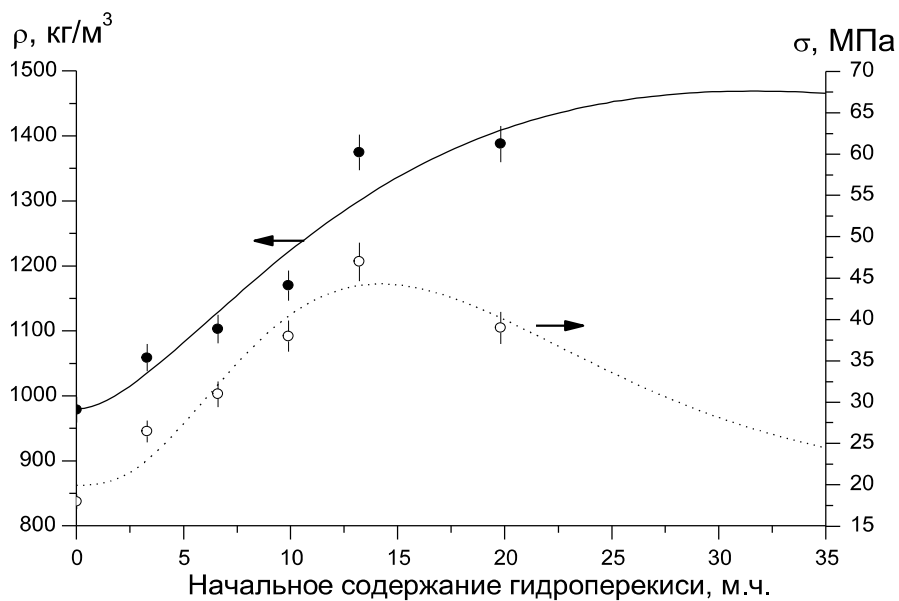


Рис. 5. Зависимость плотности и прочности композитного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 5 мин при 463K ($R_0=2233$ мин))

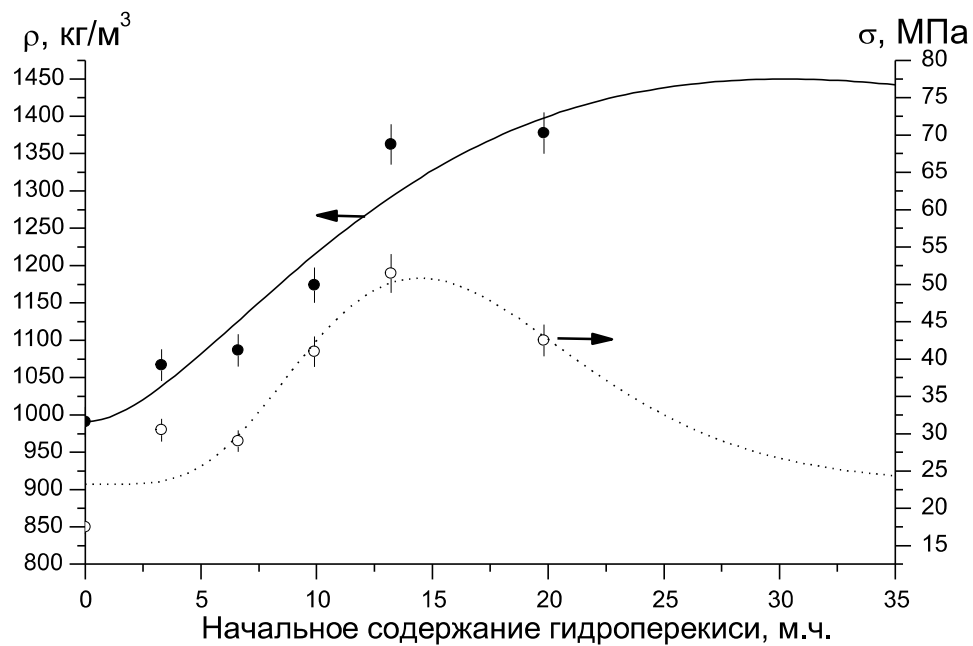


Рис. 6. Зависимость плотности и прочности композитного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 10 мин при 453K ($R_0=2267$ мин))

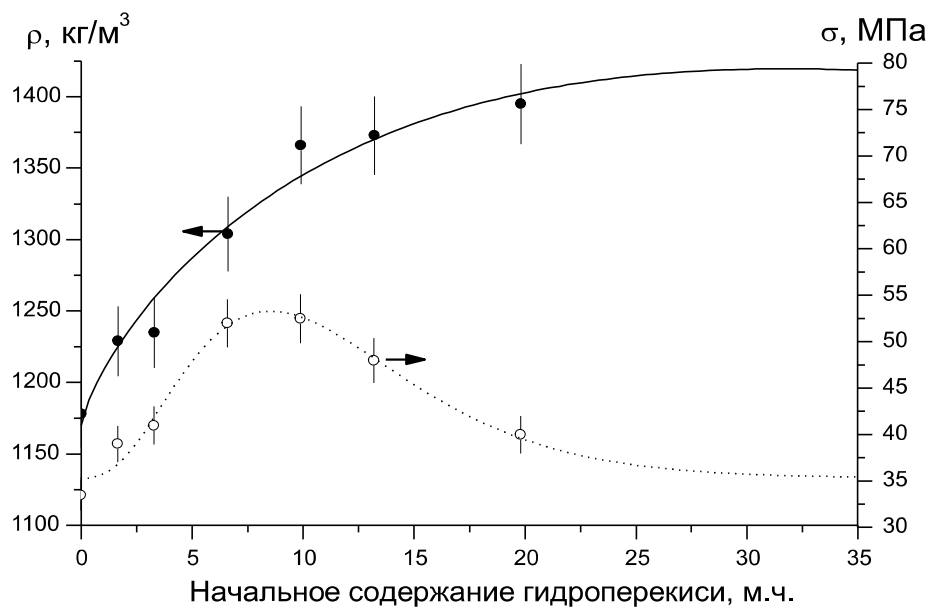


Рис. 7. Зависимость плотности и прочности композитного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 15 мин при 453K ($R_0=3400$ мин))

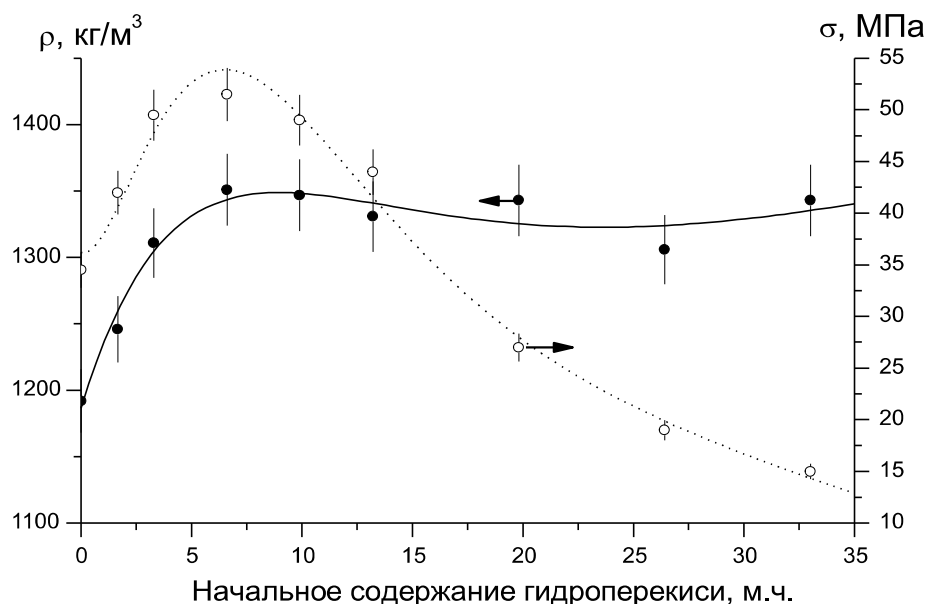


Рис. 8. Зависимость плотности и прочности композитного материала от начального содержания перекиси водорода (обработка 10 мин при 463K ($R_0=4466$ мин))

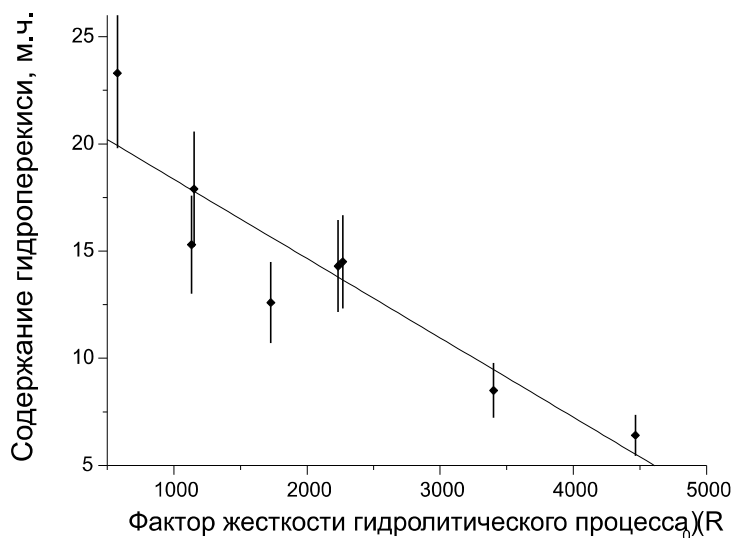


Рис. 9. Зависимость оптимального количества H_2O_2 (определено по максимуму прочности на изгиб на основе рис. 1-8) от жесткости условий баротермической обработки

Для образцов композиционного материала, полученных в условиях жесткости процесса баротермической обработки $R_0 = 4466$ мин, определены зависимости водопоглощения и разбухания за 24 часа. Вид зависимостей показан на рисунках 10, 11. С увеличением количества катализатора гидролиза наблюдается первоначально резкое улучшение гидрофобных характеристик. Уменьшение водопоглощения достигает 50%, а разбухания до 30% от значений данных показателей для композиционного материала, получаемого без применения катализатора. Обе зависимости имеют обратно экспоненциальный характер, однако с увеличением количества катализатора гидролиза динамика улучшения водопоглощения и разбухания неодинакова. Если водопоглощение практически линейно зависит от плотности (рис. 12), то кривая разбухания является более плавной. Таким образом, уменьшение разбухания происходит не синхронно с увеличением плотности материала, а зависимость разбухания от водопоглощения имеет сложный нелинейный характер (рис. 13).

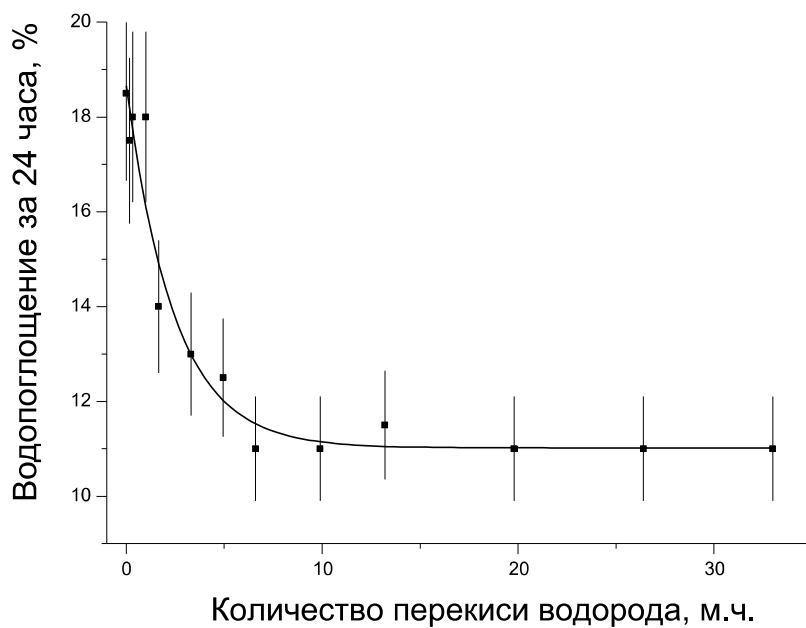


Рис. 10. Зависимость водопоглощения композиционного материала за 24 часа от содержания перекиси водорода в растворе для замачивания щелы (обработка 10 мин при 463K ($R_0=4466$ мин))

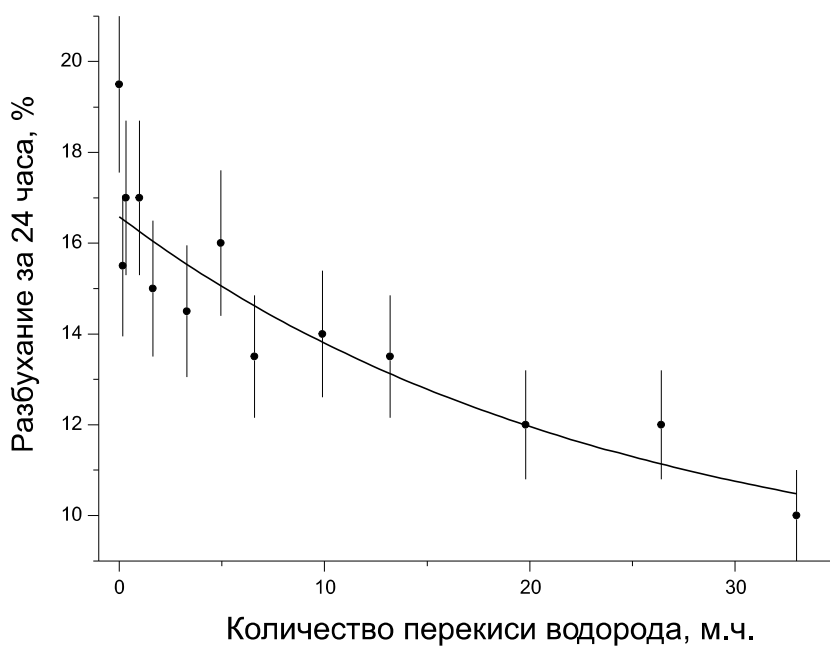


Рис. 11. Зависимость разбухания композиционного материала за 24 часа от содержания перекиси водорода в растворе для замачивания щелы (обработка 10 мин при 463K ($R_0=4466$ мин))

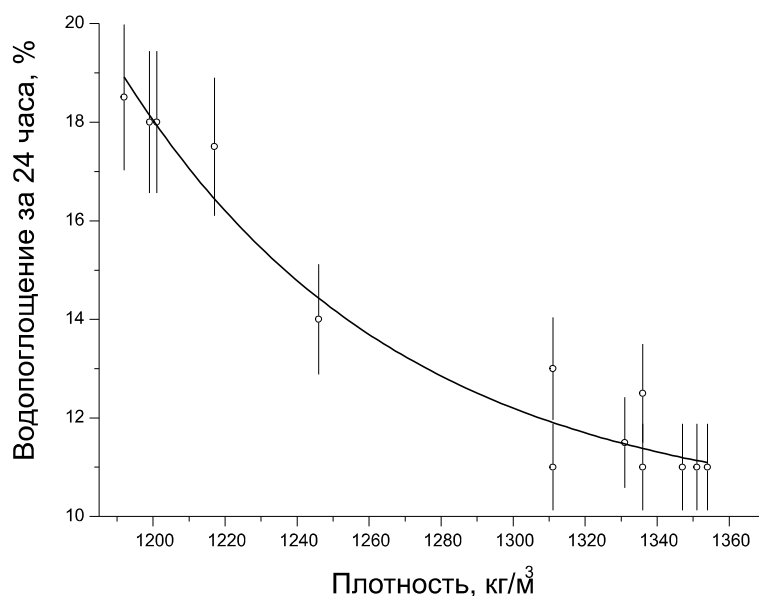


Рис. 12. Зависимость водопоглощения композиционного материала за 24 часа от его плотности

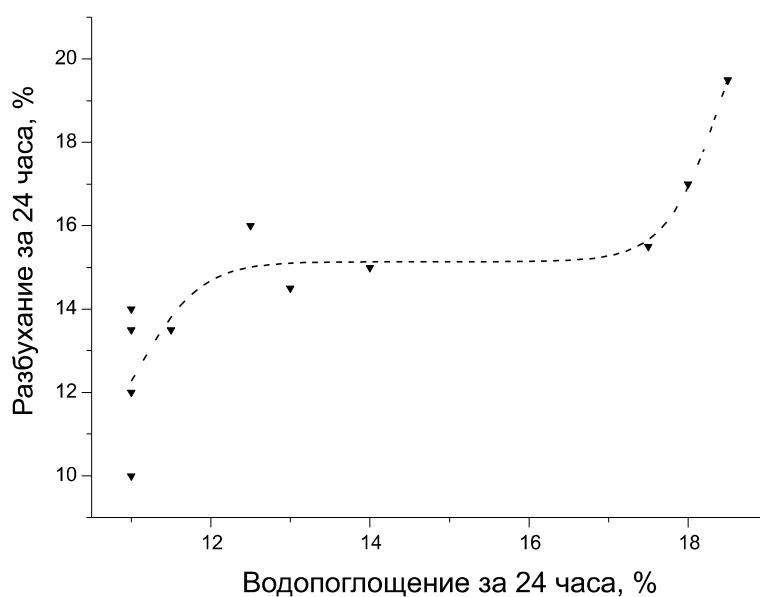


Рис. 13. Зависимость разбухания композиционного материала от его водопоглощения

На основе представленных зависимостей могут быть выбраны технологические режимы получения плитного композитного материала из гидролизованной древесины березы с заданными физико-механическими характеристиками.

Заключение

Применение перекиси водорода в качестве гидролизующего агента на стадии баротермической обработки древесины березы способствует интенсификации гидролитических превращений в ее компонентах. Плитный композиционный материал, получаемый из древесины, гидролизованной в присутствии перекиси водорода, обладает высокими физико-механическими и гидрофобными

характеристиками. Варьирование количества гидролизующего вещества, а также условий баротермической обработки (продолжительность, температура) позволяет получать композиционный материал в широком диапазоне свойств. Комплексное действие на древесину березы разных количеств перекиси водорода и температурно-временного фактора процесса баротермической обработки определяет возможность получения композиционного материала с высокими эксплуатационными показателями. Оптимальными параметрами обработки следует считать:

- количество перекиси водорода, используемой на стадии предварительного замачивания древесины – 6 - 9 м.ч. на 100 м.ч. исходной древесины;
- фактор жесткости процесса взрывного автогидролиза – 3400 - 4466 мин.

Использованные режимы позволяют получать композиционный материал, характеризующийся физико-механическими параметрами в следующих диапазонах:

- плотность 1100 - 1350 кг/м³;
- прочность при статическом изгибе 35 - 55 МПа;
- водопоглощение за 24 часа 11 - 18 %;
- разбухание за 24 часа 10 - 18 %.

На основе представленных зависимостей могут быть выбраны технологические режимы получения плитного композитного материала из гидролизованной древесины березы с заданными физико-механическими характеристиками. Варьирование условий получения композиционного материала может быть выполнено и за пределами представленных выше оптимальных технологических режимов. В таком случае из древесины березы может быть получен композиционный материал в следующих диапазонах характеристик:

- плотность 750 - 1400 кг/м³;
- прочность при статическом изгибе 10 - 60 МПа;
- водопоглощение за 24 часа 10 - 60%;
- разбухание за 24 часа 10 - 20%.

Преимущество применения перекиси водорода в качестве катализатора гидролиза обусловлено не только активизацией гидролитических процессов в компонентах древесины и образованием в них дополнительных количеств реакционноспособных групп. Пероксид водорода представляет собой неустойчивое вещество, подверженное быстрому разложению на простые компоненты – кислород и воду. При этом интенсивность процессов разложения значительно усиливается в жестких условиях баротермической обработки древесины – подобных тем, которые были использованы в данной работе. Таким образом, способствуя значительной интенсификации гидролитических процессов в древесине на стадии взрывного автогидролиза, перекись водорода уже не присутствует в волокнистой массе на стадии горячего прессования композиционного материала, а также в самом композиционном материале. Тем самым данный гидролизующий агент, в отличие от минеральных кислот и иных более устойчивых гидролизующих веществ, не способен оказывать деструктирующее действие на композиционный материал в процессе эксплуатации получаемых из него изделий.

Литература

1. Зорина Н.В., Евстафьев С.Н. Предварительная обработка соломы пшеницы перекисью водорода с последующим автогидролизом // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2013. № 2 (5). С. 33-36
2. Коньшин В.В., Протопопов А.В., Ефрюшин Д.Д. Химическая переработка биомассы растительного сырья // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова им. И. Раззакова. 2017. № 3 (43). С. 63-66
3. Скурыдин Ю.Г. Строение и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дисс. ... канд. техн. наук. : 05.23.05. Барнаул, 2000. 147с.
4. Патент № 2387669 Российская Федерация, МПК C08B 15/00, C08B 1/00, D21C 9/10, D21C 9/16, D21H 11/00, A61F 13/84. Лигноцеллюлозные материалы и продукция, изготовленная из них: 2007140732/04: заявл. 02.05.2006; опубл. 27.04.2010. Бюл. № 12. / Тан Женг, Лорензони Дамарис, Гоял Гоупэл, Янг Сэн

5. Ширяев Д.В. Теплоизоляционные материалы на основе модифицированных методом взрывного автогидролиза отходов растительного происхождения: диссертация ... кандидата технических наук : 05.21.03. Сиб. гос. технол. ун-т. Барнаул, 2013. 146 с.
6. Aguiar RS, Silveira MH, Pitarello AP, Corazza ML, Ramos LP. Kinetics of enzyme-catalyzed hydrolysis of steam-exploded sugarcane bagasse // *Bioresour Technol.* 2013 V. 147. pp. 416-423. doi: 10.1016/j.biortech.2013.08.067.
7. Douglas Henrique Fockink, Jorge Hernán Sánchez, Luiz Pereira Ramos Comprehensive analysis of sugarcane bagasse steam explosion using autocatalysis and dilute acid hydrolysis (H₃PO₄ and H₂SO₄) at equivalent combined severity factors // *Industrial Crops and Products.* 2018. V.123. pp. 563-572. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.017>
8. Fan X, Cheng G, Zhang H, Li M, Wang S, Yuan Q. Effects of acid impregnated steam explosion process on xylose recovery and enzymatic conversion of cellulose in corncob // *Carbohydr Polym.* 2014 V.114. pp.21-26. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.07.051
9. Fengel D. and Wegener G. Wood – chemistry, ultrastructure, reactions, Walter de Gruyter. Berlin and New York. 1984 (Fengel D, Wegener G (1988) Wood (Chemistry, Ultrastructure, Reactions) Wood industry, Moscow).
10. Heitz, M., Capek-Ménard, E., Koeberle, P.G., Gagné, J., Chornet, E., Overend, R.P., Taylor, J.D., Yu, E. Fractionation of *Populus tremuloides* at the pilot plant scale: Optimization of steam pretreatment conditions using the STAKE II technology // *Bioresource Technology.* 1991. Vol. 35, pp. 23-32. DOI:10.1016/0960-8524(91)90078-X
11. Ho, Mun Chun & Ong, Victor Zhenquan & Wu, Ta Yeong. Potential use of alkaline hydrogen peroxide in lignocellulosic biomass pretreatment and valorization – A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier.* 2019. Vol. 112(C). pp. 75-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.082>
12. Iogen Corporation. URL: http://www.iogen.ca/cellulosic_ethanol/index.html – свободный. Дата обращения: декабрь 2019г.
13. Jollez, P., Chornet, E. and Overend, R.P. Steam -aqueous fractionation of sugar cane bagasse: an optimization study of process conditions at the pilot plant level, in *Advances in Thermomechanical Biomass Conversion*, ed. A.V. Bridgewater, Blackie Academic and Professional, London. 1994. pp. 1659-1669.
14. Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like US Patent 1586159 (USA). 1926.
15. Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. US Patent 1578609 (USA). 1926.
16. Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocellulosies by steam aqueous pretreatments // *Philosophical Transactions of the Royal Society A.* 1987. Vol. 321. № 1561. pp. 523-536
17. Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion // *Applied Energy.* 2015. Vol. 144. pp. 114–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.021>
18. Steam explosion for biomass pre-treatment. Danish technological institute. Energy & Climate Centre for Renewable Energy and Transport Section for Biomass. 2013. p.15.
19. Wenjie Sui, Mengjia Zhou, Yi Xu, Guanhua Wang, Xiaoling Lv Hydrothermal deglycosylation and deconstruction effect of steam explosion: Application to high-valued glycyrrhizic acid derivatives from liquorice // *Food Chemistry.* 2020. V.307. Article 125558 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125558>
20. Yuan-Zong Lai Wood and Wood Products // *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology.* 2017. P. 215. DOI: 10.1007/978-3-319-52287-6_5
21. YuTong Han, JiFei Xu, ZhiMin Zhao, Ji Zhao Analysis of enzymolysis process kinetics and estimation of the resource conversion efficiency to corn cobs with alkali soaking, water and acid steam explosion pretreatments // *Bioresource Technology.* 2018. V.264. pp. 391-394 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.045>

©Скурыдин Ю.Г. – канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и электроники, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (ФГБОУ ВО «АГУ»), e-mail: skur@rambler.ru; Скурыдина Е.М. – канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий, ФГБОУ ВО «АГУ», e-mail: skudem@rambler.ru; Хабибуллина А.Р. – канд. техн. наук, доцент кафедры переработки древесных материалов, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»); e-mail: almirah@rambler.ru; Байгильдеева Е.И. – канд. техн. наук, доцент кафедры переработки древесных материалов, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: bai48@rambler.ru.

УДК 674.8:674.049.2:542.973

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS MADE OF BIRCH WOOD HYDROLYZED IN THE PRESENCE OF HYDROGEN PEROXIDE

Yu.G. Skurydin, E.M. Skuridina, R.G. Safin, A.R. Khabibullina

Physical and mechanical characteristics of wood composite materials obtained from birch wood were investigated. Composite materials were obtained after wood processing by explosive autohydrolysis in the presence of a catalyst. Hydrogen peroxide was used as a hydrolysis catalyst. The amount of catalyst varied from 0.165 to 33% by weight of the original wood. In an aqueous solution of the catalyst was carried out soaking the wood chips before barothermichesko treatment. Composite materials were made from hydrolyzed wood pulp by hot pressing without adding binders.

The dependences of density, bending strength, water absorption and swelling of composite materials on the amount of catalyst are obtained. The use of hydrogen peroxide at the preliminary stage of hydrolysis contributes to changes in the structure of wood pulp, and affects the physical and mechanical properties of composite materials obtained from it. The properties of the material depend on the amount of catalyst and the hardness of the barothermal treatment conditions. An increase in the content of hydrogen peroxide in the solution for soaking chips is initially accompanied by a proportional increase in density and strength. For most of the selected modes of barothermal treatment, the presence of a limit value of the amount of catalyst at which the density of the composite material reaches a maximum is characteristic. Further increase in the amount of the catalyst does not lead to an increase in the degree of dispersion of the resulting fibrous mass and an increase in the density of composite materials. The increase in the density and strength of the material in comparison with the material obtained without the use of a catalyst is up to 80%, depending on the conditions of barothermal treatment and the amount of catalyst. Hydrophobic characteristics are improved up to 100%. The increase in strength characteristics is proportional to the increase in the content of hydrogen peroxide only to a certain concentration. For a composite material obtained in the presence of hydrogen peroxide, it is characterized by the presence of extremum points in which the bending strength values are maximum. Further increase in the amount of the catalyst leads to a deterioration of strength characteristics, which is a consequence of the dominance of destructive processes over the processes of intermolecular crosslinking. The detected effects can be used in the process of optimization of technological modes for obtaining composite materials based on birch wood subjected to barothermic treatment by explosive autohydrolysis.

Keywords: explosive autohydrolysis, birch wood, composite material, strength, density, hydrophobic characteristics, hydrogen peroxide.

References

1. Zorina N.V., Evstafiev S.N. Pretreatment of wheat straw with hydrogen peroxide followed by autohydrolysis. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya* [News of universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 2013, No. 2 (5), pp. 33-36.
2. Konshin V.V., Protopopov A.V., Efrushin D.D. Chemical processing of biomass of plant materials *Izvestiya Kirgizskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I.Razzakova im. I. Razzakova* [Bulletin of the Kirgiz State Technical University. I. Razzakova them. I. Razzakova], 2017, No. 3 (43), pp. 63 - 66.
3. Skuridin Yu G. Structure and properties of composite materials obtained from waste wood after the explosive hydrolysis. Dissertation. Altai State Technical University. 2000]
4. Tan ZHeng, Lorenzoni Damaris, Goyal Goupel, YAng Sen. Lignocellulosic materials and products made from them. Patent RF, no 2387669, 2010
5. Shiryaev D.V. Thermal insulation materials based on plant waste modified by explosive autohydrolysis method. Dissertation. Siberian State Technological University. 2013
6. Aguiar RS, Silveira MH, Pitarello AP, Corazza ML, Ramos LP. Kinetics of enzyme-catalyzed hydrolysis of steam-exploded sugarcane bagasse // *Bioresour Technol.* 2013 V. 147. pp. 416-423. doi: 10.1016/j.biortech.2013.08.067.
7. Douglas Henrique Fockink, Jorge Hernán Sánchez, Luiz Pereira Ramos Comprehensive analysis of sugarcane bagasse steam explosion using autocatalysis and dilute acid hydrolysis (H₃PO₄ and H₂SO₄) at

equivalent combined severity factors // *Industrial Crops and Products*. 2018. V.123. pp. 563-572. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.017>

8. Fan X, Cheng G, Zhang H, Li M, Wang S, Yuan Q. Effects of acid impregnated steam explosion process on xylose recovery and enzymatic conversion of cellulose in corncob // *Carbohydr Polym*. 2014 V.114. pp.21-26. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.07.051

9. Fengel D. and Wegener G. *Wood – chemistry, ultrastructure, reactions*, Walter de Gruyter. Berlin and New York. 1984 (Fengel D, Wegener G (1988) *Wood (Chemistry, Ultrastructure, Reactions)* Wood industry, Moscow).

10.Heitz, M., Capek-Ménard, E., Koeberle, P.G., Gagné, J., Chornet, E., Overend, R.P., Taylor, J.D., Yu, E. Fractionation of *Populus tremuloides* at the pilot plant scale: Optimization of steam pretreatment conditions using the STAKE II technology // *Bioresource Technology*. 1991. Vol. 35, pp. 23-32. DOI:10.1016/0960-8524(91)90078-X

11.Ho, Mun Chun & Ong, Victor Zhenquan & Wu, Ta Yeong. Potential use of alkaline hydrogen peroxide in lignocellulosic biomass pretreatment and valorization – A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier. 2019. Vol. 112(C). pp. 75-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.082>

12.Iogen Corporation. URL: http://www.iogen.ca/cellulosic_ethanol/index.html – свободный. Дата обращения: декабрь 2019г.

13.Jollez, P., Chornet, E. and Overend, R.P. Steam -aqueous fractionation of sugar cane bagasse: an optimization study of process conditions at the pilot plant level, in *Advances in Thermomechanical Biomass Conversion*, ed. A.V. Bridgwater, Blackie Academic and Professional, London. 1994. pp. 1659-1669.

14.Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like US Patent 1586159 (USA). 1926.

15.Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. US Patent 1578609 (USA). 1926.

16.Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocellulosics by steam aqueous pretreatments // *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 1987. Vol. 321. № 1561. pp. 523-536

17.Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion // *Applied Energy*. 2015. Vol. 144. pp. 114–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.021>

18.Steam explosion for biomass pre-treatment. Danish technological institute. Energy & Climate Centre for Renewable Energy and Transport Section for Biomass. 2013. p.15.

19.Wenjie Sui, Mengjia Zhou, Yi Xu, Guanhua Wang, Xiaoling Lv Hydrothermal deglycosylation and deconstruction effect of steam explosion: Application to high-valued glycyrrhizic acid derivatives from liquorice // *Food Chemistry*. 2020. V.307. Article 125558 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125558>

20.Yuan-Zong Lai *Wood and Wood Products* // *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*. 2017. P. 215. DOI: 10.1007/978-3-319-52287-6_5

21.YuTong Han, JiFei Xu, ZhiMin Zhao, Ji Zhao Analysis of enzymolysis process kinetics and estimation of the resource conversion efficiency to corn cobs with alkali soaking, water and acid steam explosion pretreatments // *Bioresource Technology*. 2018. V.264. pp. 391-394 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.045>

© **Skurydin Yu.G.** – PhD of Technical Sciences, Associate professor of the Department of computer facilities and electronics, Altai State University (ASU), e-mail: skur@rambler.ru; **Skuridina E.M.** – PhD of Technical Sciences, Associate professor of the Department of information technologies, ASU, e-mail: skudem@rambler.ru; **Khabibullina A. R.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: almira-h@rambler.ru; **Baigildeeva E.I.** – Ph.D in Engineering sciences, Associate Professor of the Department Processing of wood materials, KNRTU, e-mail: bai48@rambler.ru.