

ВЛИЯНИЕ ПРЕДГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧАЕМОГО НА ЕЕ ОСНОВЕ

Ю.Г. Скурыдин¹✉, Е.М. Скурыдина²

¹ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61

²ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», 656031, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 55

skur@rambler.ru

Представлены результаты исследования влияния предварительной обработки древесины березы пероксидом водорода и ее последующей обработки методом взрывного автогидролиза на плотность, прочность при статическом изгибе, на водопоглощение и разбухание композитного материала, полученного на основе гидролизованной древесной массы методом горячего прессования без добавления связующих компонентов. Установлены зависимости плотности образцов, их прочностных и гидрофобных характеристик от количества, используемого при обработке пероксида водорода и жесткости условий взрывного автогидролиза. Определено пороговое количество пероксида водорода для каждого из режимов взрывного гидролиза.

Ключевые слова: взрывной автогидролиз, древесина березы, композитный материал, прочность, плотность, гидрофобные свойства, пероксид водорода

Ссылка для цитирования: Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Влияние предгидролитической обработки древесины березы на физико-механические характеристики композитного материала, получаемого на ее основе // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-103-112

Одним из направлений развития лесной отрасли является разработка и совершенствование технологических процессов получения композитных материалов конструкционного назначения на основе древесных частиц [1–3]. Известно множество подобных технологий, однако до настоящего времени актуален вопрос создания материалов с заданными свойствами, в том числе определяющими более широкие границы их применения. Важное значение имеет вовлечение в коммерческий оборот растительных отходов, низкосортной древесины, а также разработка методов оценки влияния технологических факторов на свойства получаемых материалов. Полученные модели могут быть использованы при оптимизации технологических режимов получения материалов с требуемыми характеристиками.

Способ получения композитных материалов без добавления связующих компонентов, основанный на использовании гидролизованных древесных частиц, предполагает использование двух этапов. На первом этапе исходный лигноцеллюлозный материал подвергается баротермическому гидролизу в среде насыщенного водяного пара, на втором — осуществляется горячее прессование высушенных продуктов гидролиза в композитный материал без добавления связующих веществ [4–6]. Формирование композитной структуры обусловлено протеканием поликонденсационных процессов в компонентах

древесины, активированных при баротермической обработке [7].

Одним из методов баротермической обработки лигноцеллюлозных материалов является взрывной автогидролиз. В основе метода используется обработка частиц в течение заданного времени в среде насыщенного водяного пара, после чего следует резкий сброс давления с одновременной выгрузкой гидролизованного лигноцеллюлозного вещества [4, 8–13]. Глубокие гидролитические превращения в процессе такой обработки приводят не только к изменению морфологической структуры материала, но и к появлению в его составе новых, в том числе химически активных компонентов. Качественный и количественный состав гидролизованного древесного вещества зависит от вида обрабатываемого сырья и режимов баротермической обработки [6, 14, 15]. Исследования последних лет направлены на изучение факторов, определяющих кинетику процессов гидролиза растительной ткани при взрывном автогидролизе, изменение ее состава и характеристик компонентов, в том числе при использовании гидролизующих агентов [16–20]. Однако в настоящее время исследования подобного рода выполняются преимущественно в рамках проектов по разработке технологий биотоплива. Можно предполагать, что подобная предгидролитическая обработка может быть выполнена и при получении лигноцеллюлозной массы для создания на ее основе композитных материалов.

Цель работы

Цель работы — изучение зависимости прочностных и гидрофобных характеристик плитных композитных материалов из древесины березы от количества пероксида водорода, используемого в качестве гидролизующего агента на стадии получения древесной массы методом взрывного автогидролиза, а также от фактора жесткости баротермической обработки. Использование пероксида водорода расширяет возможности метода взрывного автогидролиза применительно к получению композитных материалов на его основе, обеспечивает возможность создания материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками при менее жестких условиях баротермической обработки [21].

Материалы и методы исследования

Получение композитных материалов осуществлялось следующим образом. В качестве исходного сырья использованы частицы древесины березы пушистой (*Betula pubescens*), соответствующие параметрам технологической щепы со средним размером $\sim 5 \times 15 \times 25$ мм и влажностью 20..30 % (рис. 1). Процесс получения состоял из трех стадий.



Рис. 1. Технологическая щепа березы перед обработкой раствором пероксида водорода и баротермическим гидролизом

Fig. 1. Processed birch chips before treatment with hydrogen peroxide solution and explosive autohydrolysis

На первой стадии древесную щепу пропитывали водным раствором пероксида водорода. Количество раствора в разных сериях эксперимента в пересчете на пергидроль составляло от 0 до 100 м. ч. на 100 м. ч. древесины. Объем раствора каждый раз доводили до соотношения 1:1 к массе исходной древесины. Продолжительность обработки составляла 60 мин, температура ~ 293 К.

В процессе замачивания осуществлялось периодическое перемешивание щепы и раствора в целях обеспечения равномерной пропитки древесных частиц.

На второй стадии щепу, увлажненную раствором пероксида водорода, помещали в реактор установки взрывного автогидролиза периодического действия, где ее подвергали обработке насыщенным перегретым водяным паром в течение заданного времени. Температура обработки составляла 443...463К, продолжительность 5...15 мин. Поскольку степень воздействия взрывного автогидролиза на материал определяется преимущественно температурой и продолжительностью процесса баротермической обработки, то в соответствии с адаптивной математической моделью, предложенной в работах [22, 23], был выполнен расчет его фактора жесткости. Под фактором жесткости подразумевается температурно-временной параметр, расчетное значение которого дает количественную оценку условиям процесса баротермической обработки с точки зрения глубины морфологических и химических превращений в обрабатываемом материале и его компонентах. Достоинством фактора жесткости является то, что он представляет собой постоянную величину для каждого из соотношений температуры и продолжительности баротермической обработки, и позволяет легко сравнивать между собой степень воздействия разных условий взрывного автогидролиза на один и тот же материал. Для расчета использована размерная форма фактора жесткости, определяемого по формуле

$$R_0 = \tau \exp\left(\frac{T - 100}{14,75}\right),$$

где τ — продолжительность процесса баротермической обработки, мин;

T — температура процесса обработки, °С.

Для серии использованных образцов фактор жесткости находился в диапазоне 57...4466 мин. Стадия баротермической обработки завершалась резким сбросом давления в реакторе до атмосферного с одновременным выбросом гидролизованного древесного вещества в приемное устройство. Продолжительность процесса декомпрессии системы составляла не более 1 с. Полученный в результате баротермической обработки гидролизированный материал высушивали при комнатной температуре до влагосодержания ~ 20 % (рис. 2).

На третьей стадии осуществлялось горячее прессование гидролизованного древесного вещества в плитный композитный материал. Прессование выполнялось в разборной пресс-форме в заданной последовательности. Гидролизированные древесные частицы без добавления каких-либо связующих компонентов помещали в пресс-форму

при комнатной температуре, после чего включали нагрев и осуществляли подпрессовку материала при давлении 5 МПа, которое было принято за целевое. В процессе нагрева поддерживалось заданное давление с точностью $\pm 0,5$ МПа. После достижения целевой температуры прессования в 423К его продолжительность в условиях заданных температуры и давления составляла ~ 1 мин на 1 мм толщины композитного материала.

Полученный композитный материал (рис. 3) подвергался испытаниям в целях определения плотности, прочности при статическом изгибе, водопоглощения и разбухания за 24 ч по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ 10634–88, ГОСТ 10635–88, ГОСТ 10633–2018 [24–26].

Результаты и обсуждение

Проведенный эксперимент позволил получить серию зависимостей плотности, прочности при статическом изгибе, водопоглощения и разбухания композитного материала от количества пероксида водорода, использованного на стадии предварительной обработки древесины, а также условий последующей баротермической обработки. На рис. 4 приведен пример зависимости плотности и прочности при статическом изгибе композитного материала от количества пероксида водорода при наиболее жестких условиях взрывного автогидролиза из тех, которые были использованы в работе.

Характерной особенностью представленной зависимости является первоначально резкое синхронное увеличение плотности композитного материала и его прочности при статическом изгибе с увеличением количества используемого при обработке пероксида водорода. Первоначально интенсивное увеличение плотности и прочности материала при увеличении количества перекиси водорода характерно и для иных, менее жестких условий баротермической обработки древесины (таблица).

Увеличение плотности материала при увеличении количества пероксида водорода в растворе для замачивания древесины можно считать следствием соответствующей интенсификации гидролитических процессов. Характерно, что интенсивность процесса увеличения плотности композитного материала с увеличением количества гидролизующего вещества постепенно замедляется. Это свойственно как образцам, полученным в относительно жестких условиях баротермической обработки, так и полученным в более мягких условиях. Из рис. 4, 5, и из данных таблицы следует, что в большинстве вариантов, достигнув условного порогового значения, плотность материала далее не увеличивается. Можно предположить, что при баротермической обработке древесины



Рис. 2. Гидролизованная древесина березы
Fig. 2. Hydrolyzed birch wood



Рис. 3. Композитный материал из гидролизованной древесины березы
Fig. 3. Composite material of hydrolyzed birch wood

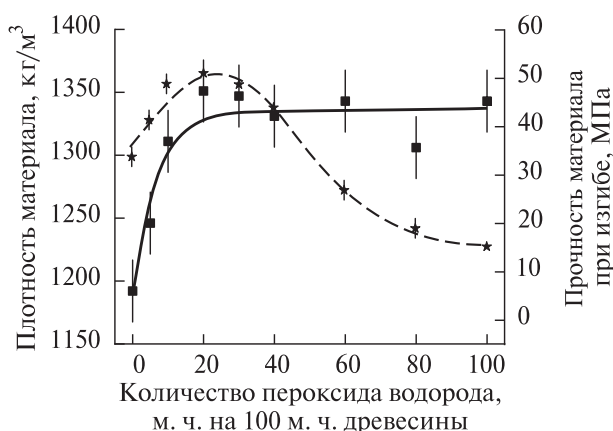


Рис. 4. Зависимость плотности и прочности при статическом изгибе композитного материала от количества пероксида водорода, использованного на стадии предварительной обработки древесины. Температура баротермической обработки 463К, продолжительность обработки 10 мин (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 4. Dependencies of density and static bending strength of composite material on the amount of hydrogen peroxide used at the stage of wood pretreatment. Barothermal treatment temperature 463K, treatment duration 10 min (stiffness factor 4466 min)

березы в присутствии пероксида водорода каждому из вариантов фактора жесткости процесса автогидролиза соответствует определенное количество пероксида водорода, при котором степень

Зависимость плотности и прочности при статическом изгибе композитного материала от жесткости условий взрывного автогидролиза и количества пероксида водорода, использованного на стадии предварительной обработки древесины

Dependences of density and static bending strength of composite material on the explosive autohydrolysis conditions and the amount of hydrogen peroxide used at the stage of wood pretreatment

| Фактор жесткости взрывного автогидролиза, мин | Количество пероксида водорода, м. ч. на 100 м. ч. древесины | Плотность, кг/м ³ | Прочность при изгибе, МПа | Фактор жесткости взрывного автогидролиза, мин | Количество пероксида водорода, м. ч. на 100 м. ч. древесины | Плотность, кг/м ³ | Прочность при изгибе, МПа |
|---|---|------------------------------|---------------------------|---|---|------------------------------|---------------------------|
| 575 | 0 | 694 | 1 | 2230 | 0 | 979 | 18 |
| | 10 | 740 | 1,5 | | 10 | 1059 | 26,6 |
| | 20 | 854 | 7 | | 20 | 1103 | 31 |
| | 30 | 939 | 14,5 | | 30 | 1170 | 38 |
| | 40 | 1101 | 28,5 | | 40 | 1375 | 47 |
| | 60 | 1270 | 44,5 | | 60 | 1388 | 39 |
| | 80 | 1351 | 45,8 | | 80 | 1458 | 32,2 |
| | 100 | 1363 | 35,8 | | 100 | 1468 | 25,5 |
| 1133 | 0 | 839 | 5,5 | 3400 | 0 | 1178 | 33,5 |
| | 10 | 986 | 13 | | 5 | 1229 | 39 |
| | 20 | 1058 | 22,5 | | 10 | 1235 | 41 |
| | 30 | 1206 | 41 | | 20 | 1304 | 52 |
| | 40 | 1330 | 47 | | 30 | 1366 | 52,5 |
| | 60 | 1366 | 45 | | 40 | 1373 | 48 |
| | 80 | 1440 | 32,9 | | 60 | 1395 | 40 |
| | 100 | 1455 | 19,8 | | 80 | 1416 | 36,4 |
| 1726 | 0 | 935 | 14 | 4466 | 100 | 1419 | 35,5 |
| | 5 | 1061 | 22 | | 0 | 1192 | 34,5 |
| | 10 | 1056 | 23,5 | | 5 | 1246 | 42 |
| | 20 | 1189 | 40,5 | | 10 | 1311 | 49,5 |
| | 30 | 1289 | 49,5 | | 20 | 1351 | 51,5 |
| | 40 | 1354 | 56 | | 30 | 1347 | 49 |
| | 60 | 1394 | 42,5 | | 40 | 1331 | 44 |
| | 80 | 1423 | 30,4 | | 60 | 1343 | 27 |
| | 100 | 1442 | 22,3 | | 80 | 1306 | 19 |
| | | | | 100 | 1343 | 15 | |

дисперсности гидролизованного древесного вещества достигает максимума. Использование соответствующего количества пероксида водорода позволяет получить композитный материал с наибольшей для данных условий плотностью.

Прочностные характеристики материала изменяются по иному закону. Первоначально, при относительно небольшом количестве пероксида водорода, зависимость прочности от плотности носит характер, близкий к линейному (рис. 6). Дальнейшее увеличение концентрации пероксида водорода в растворе сопровождается ухудшением прочностных характеристик композитного материала. Подобная зависимость характерна для большинства выбранных режимов баротермической обработки древесины (рис. 7, см. таблицу). Наиболее вероятной причиной проявления подобного эффекта может быть активизация деструктивных процессов в составе комплекса

компонентов древесины в присутствии значительного количества пероксида водорода. При этом наиболее интенсивным деструктивным изменениям подвержены компоненты, обуславливающие появление химически активных групп, формирующих сшитые структуры в композитном материале. Прежде всего, это продукты гидролиза гемицеллюлоз и лигнина.

Оптимальное количество пероксида водорода, при котором прочность материала оказывается наибольшей, зависит от жесткости условий баротермической обработки. Для выполненной серии экспериментов характерна тенденция линейного уменьшения оптимального количества пероксида водорода с увеличением продолжительности баротермической обработки и/или ее температуры (рис. 8). Получение композитного материала с максимальной прочностью (~ 50 МПа) при наименьшем количестве пероксида водорода

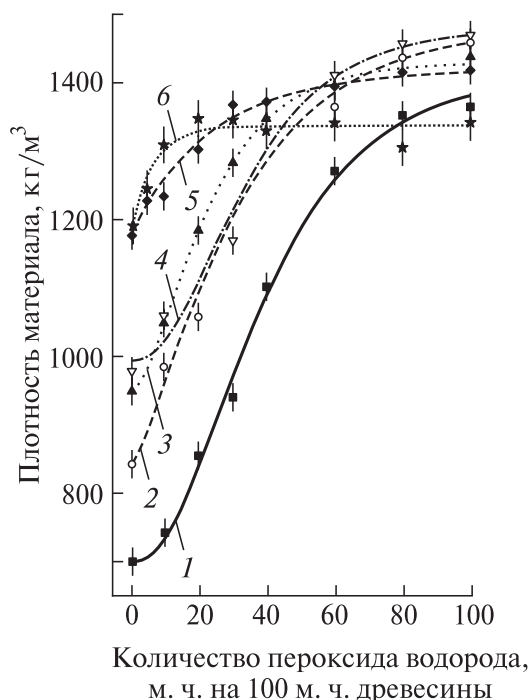


Рис. 5. Зависимость плотности композитного материала от количества пероксида водорода на стадии предварительной обработки древесины для разных условий фактора жесткости взрывного автогидролиза: 1 — 575 мин; 2 — 1133 мин; 3 — 1726 мин; 4 — 2230 мин; 5 — 3400 мин; 6 — 4466 мин

Fig. 5. Dependence of composite material density on the amount of hydrogen peroxide, at the stage of wood pretreatment for different conditions of explosive auto-hydrolysis stiffness factor: 1 — 575 min; 2 — 1133 min; 3 — 1726 min; 4 — 2230 min; 5 — 3400 min; 6 — 4466 min

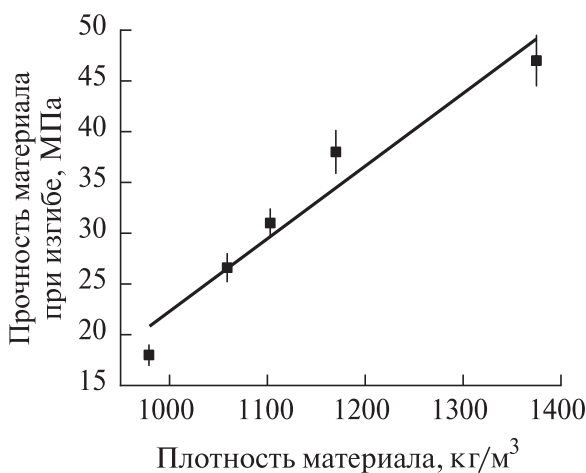


Рис. 6. Зависимость прочности при статическом изгибе композитного материала, полученного при использовании до 40 м. ч. пероксида водорода на 100 м. ч. древесины, от его плотности. Температура баротермической обработки 463К, продолжительность 5 мин (фактор жесткости 2230 мин)

Fig. 6. Dependence of static bending strength on the density of the composite material obtained by using up to 40 m.p.h. of hydrogen peroxide per 100 m.p.h. of wood. Barothermal treatment temperature 463K, duration 5 min (hardness factor 2230 min)

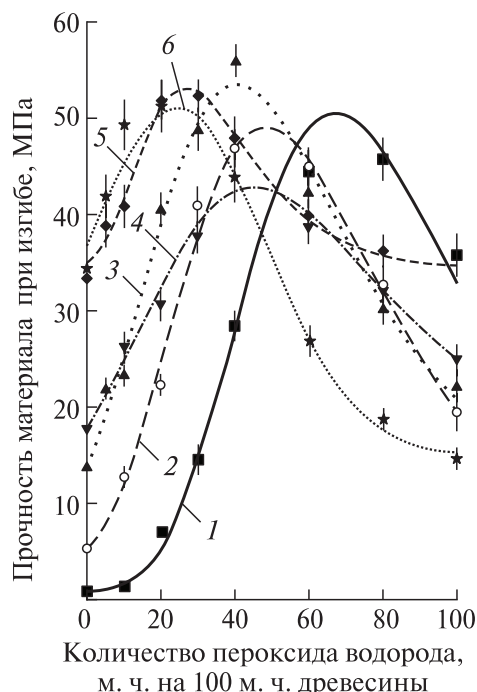


Рис. 7. Зависимость прочности при статическом изгибе композитного материала от количества пероксида водорода на стадии предварительной обработки древесины для разных условий фактора жесткости взрывного автогидролиза: 1 — 575 мин; 2 — 1133 мин; 3 — 1726 мин; 4 — 2230 мин; 5 — 3400 мин; 6 — 4466 мин

Fig. 7. Dependence of static bending strength of composite material on the amount of hydrogen peroxide at the stage of wood pretreatment for different conditions of explosive autohydrolysis stiffness factor: 1 — 575 min; 2 — 1133 min; 3 — 1726 min; 4 — 2230 min; 5 — 3400 min; 6 — 4466 min

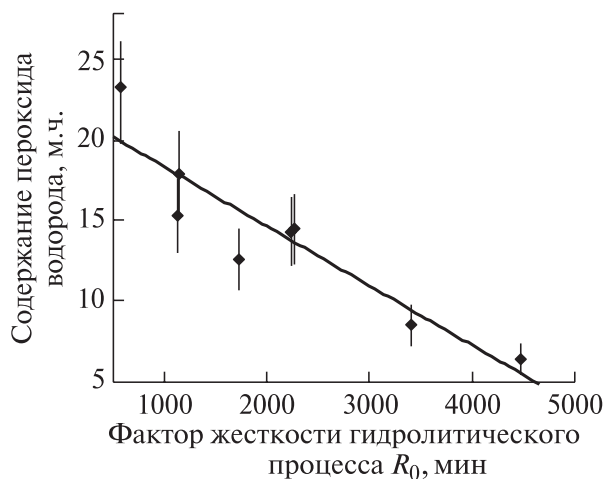


Рис. 8. Зависимость оптимального количества пероксида водорода от жесткости условий взрывного автогидролиза

Fig. 8. Dependence of the optimal amount of hydrogen peroxide on the hardness of explosive autohydrolysis conditions

(~ 20 м. ч.) обеспечивается в условиях фактора жесткости 4466 мин, что соответствует баротермической обработке при 463К в течение 10 мин.

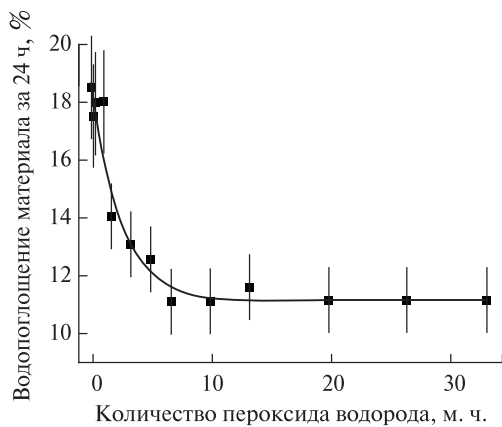


Рис. 9. Зависимость водопоглощения композитного материала за 24 ч от количества пероксида водорода. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 9. Dependence of composite material water absorption in 24 hours on the amount of hydrogen peroxide. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

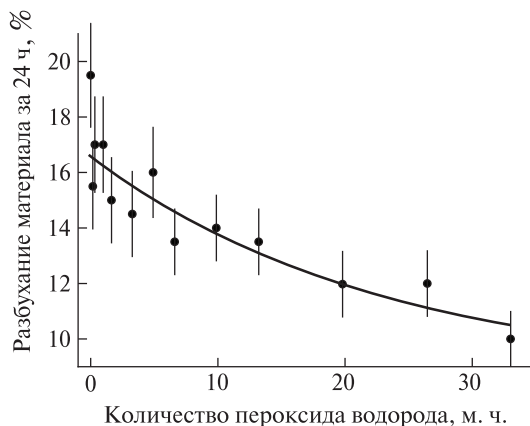


Рис. 10. Зависимость разбухания композитного материала за 24 ч от количества пероксида водорода. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 10. Dependence of the composite material swelling in 24 h on the amount of hydrogen peroxide. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

Похожий эффект также можно достичь при температуре баротермической обработки 453К и продолжительности 15 мин (фактор жесткости 3400 мин). В представленной серии диапазон оптимального количества пероксида водорода для разных условий автогидролиза составляет от 15 до 75 м. ч. Для мягких условий взрывного автогидролиза, например при температуре 443К и продолжительности 5 мин, проявление влияния добавки пероксида водорода прослеживается лишь от 9 м. ч. Последующее увеличение количества реагента приводит к резкой интенсификации гидролитических процессов и, как следствие, к увеличению плотности и прочностных характеристик. Характерно, что максимальное значение прочно-

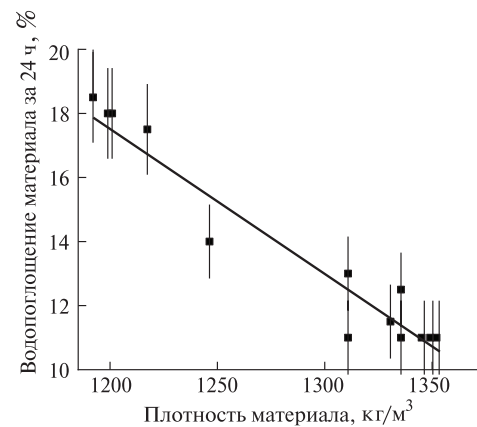


Рис. 11. Зависимость водопоглощения композитного материала за 24 ч от его плотности. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 11. Dependence of composite material water absorption for 24 h on its density. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

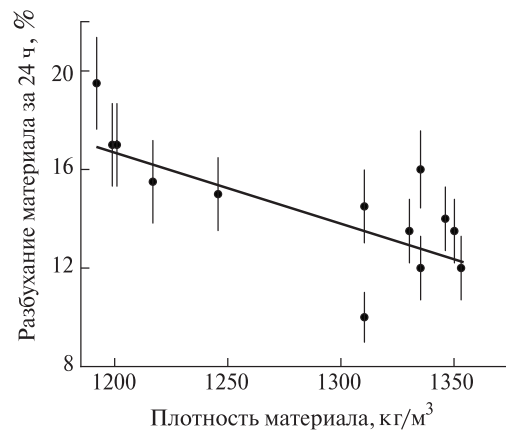


Рис. 12. Зависимость разбухания композитного материала за 24 ч от его плотности. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 12. The dependence of the composite material swelling for 24 h on its density. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

сти у каждого из образцов коррелирует с уровнем начала стабилизации плотности материала.

Определение водопоглощения и разбухания за 24 ч выполнено для материала, полученного после обработки древесины при температуре 463К в течение 10 мин (фактор жесткости 4466 мин). Из полученных результатов следует (рис. 9), что увеличение количества пероксида водорода до 20 м. ч. приводит к резкому уменьшению водопоглощения — до 50 % этого показателя у контрольного образца, полученного без использования пероксида водорода. Снижение разбухания (рис. 10) выражено в меньшей степени и составляет около 30 %. Кривая зависимости разбухания от количества пероксида водорода является более

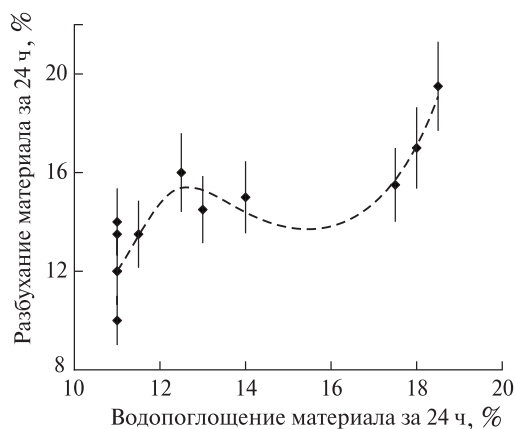


Рис. 13. Зависимость разбухания композитного материала от его водопоглощения. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 13. Dependence of composite material swelling on its water absorption. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

плавной. Обе зависимости являются обратно экспоненциальными, но при этом демонстрируют неодинаковую динамику. В то время как водопоглощение коррелирует с изменением плотности по закону, близкому к линейному (рис. 11), для разбухания подобная зависимость оказывается не столь явной (рис. 12). Таким образом, изменение разбухания материала не синхронизировано с изменением его плотности. Подобное поведение материала может быть следствием различий в количестве и структуре пространственных связей между компонентами композитного материала, полученного в разных условиях взрывного автогидролиза. Связь между разбуханием и водопоглощением для образцов такого материала имеет сложный нелинейный характер (рис. 13).

Выводы

Использование пероксида водорода в качестве гидролизующего вещества при обработке древесины березы методом взрывного автогидролиза оказывает влияние на интенсивность и глубину гидролитических превращений в компонентах древесного комплекса. Физико-механические характеристики композитного материала, получаемого из гидролизованной древесины, в значительной степени зависят от количества используемого при ее обработке пероксида водорода, температуры и продолжительности взрывного автогидролиза. Следствием первоначального увеличения количества пероксида водорода и/или жесткости условий баротермической обработки древесины является интенсивное увеличение плотности и прочности при изгибе композитного материала, сопровождаемое значительным уменьшением водопоглощения и разбухания по толщине. Даль-

нейшее увеличение количества пероксида водорода приводит к доминированию деструктивных процессов в компонентах древесины, определяющих формирование конденсационных связей в структуре получаемого композитного материала. При этом прочностные характеристики материала могут значительно ухудшиться, а плотность и гидрофобные свойства остаются без выраженной зависимости от количества используемого при обработке пероксида водорода. Варьирование указанными технологическими параметрами позволяет получать композитный материал в достаточно широком диапазоне свойств. Представленные результаты можно использовать в качестве критериев оптимизации технологических параметров получения композитного материала на основе гидролизованной древесины.

Оптимальным диапазоном параметров процесса получения композитного материала с наилучшими физико-механическими характеристиками следует считать:

- количество пероксида водорода в качестве гидролизующего вещества на стадии предварительной обработки технологической щепы березы — от 20 до 30 м. ч. на 100 м. ч. древесины;
- фактор жесткости процесса баротермической обработки методом взрывного автогидролиза — от 3400 до 4466 мин.

При использовании соответствующих технологических режимов физико-механические характеристики получаемого композитного материала находятся в следующих диапазонах:


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

Использование пероксида водорода в качестве вещества, интенсифицирующего гидролитические процессы в компонентах древесины при получении на их основе композитных материалов, может обладать преимуществом по сравнению с применением реагентов иного рода. Пероксид водорода является нестойким веществом. При высоких значениях температур, свойственных стадиям баротермической обработки древесины и горячего прессования композитного материала, происходит ее разложение на простые компоненты — кислород и воду. В отличие от более устойчивых минеральных кислот и прочих гидролизующих веществ этим уменьшается вероятность присутствия пероксида водорода в готовом композитном материале. Соответственно, снижается вероятность деструктирующего действия гидролизующего вещества в процессе эксплуатации композитных материалов и изделий, получаемых на их основе.

Список литературы

- [1] Oktay S., Kızılcan N., & Bengu B. Oxidized cornstarch — Urea wood adhesive for interior particleboard production // *International J. of Adhesion and Adhesives*, 2021, vol. 110, p. 102947. DOI:10.1016/j.ijadhadh.2021.102947
- [2] Singh N., Rana A., Badhotiya G.K. Raw material particle terminologies for development of engineered wood // *Materials Today: Proceedings*, 2021. DOI:10.1016/j.matpr.2021.02.616
- [3] Uemura Silva V., Nascimento M.F., Resende Oliveira P., Panzera T.H., Rezende M.O., Silva D.A.L., Christoforo A.L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards // *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 285, p. 122906. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.122906
- [4] Steam explosion for biomass pre-treatment. Danish technological institute. Energy & Climate Centre for Renewable Energy and Transport Section for Biomass, 2013, p.15.
- [5] 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
- [6] Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Сафин Р.Г., Хабибуллина А.Р. Физико-механические характеристики термодеревесной композиции из древесины сосны при баротермической обработке // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2021. № 2. С. 143–155. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-143-155
- [7] Старцев О.В. Салин Б.Н., Скурыдин Ю.Г. Баротермический гидролиз древесины в присутствии минеральных кислот // *Доклады академии наук. Химическая технология*, 2000. Т. 370. № 5. С. 638–641.
- [8] Скурыдин Ю.Г. Структура и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.05. Барнаул, 2000. 147с.
- [9] 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
- [10] Iogen Corporation. URL: <https://www.iogen.ca/iogen-technology> (дата обращения 12.12.2021).
- [11] 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.
- [12] Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like US Patent 1586159 (USA). 1926.
- [13] Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. US Patent 1578609 (USA). 1926.
- [14] Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion // *Applied Energy*, 2015, v. 144, pp. 114–128. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.02.021
- [15] Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Влияние условий взрывного автогидролиза на химический состав и физико-механические характеристики композиционных материалов, получаемых из древесины лиственницы сибирской // *Хвойные бореальной зоны*, 2021. Т. 39. № 3. С. 216–223.
- [16] Коньшин В.В., Протопопов А.В., Ефрушин Д.Д. Химическая переработка биомассы растительного сырья // *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*, 2017. № 3 (43). С. 63–66.
- [17] Ширяев Д.В. Теплоизоляционные материалы на основе модифицированных методом взрывного автогидролиза отходов растительного происхождения: дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03. Сиб. гос. технол. ун-т. Барнаул, 2013. 146 с.
- [18] Fockink D.H., Sánchez J.H., Ramos L.P. Comprehensive analysis of sugarcane bagasse steam explosion using autocatalysis and dilute acid hydrolysis (H_3PO_4 and H_2SO_4) at equivalent combined severity factors // *Industrial Crops and Products*, 2018, v. 123, pp. 563–572. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.07.017
- [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, p. 125558. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125558
- [20] 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: 10.1016/j.biortech.2018.06.045
- [21] 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: 10.1016/j.rser.2019.04.082
- [22] Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocellulosics by steam aqueous pretreatments // *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [23] Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Сафина А.В., Хабибуллина А.Р. Фактор жесткости взрывного автогидролиза // *Деревообрабатывающая промышленность*, 2019. № 4. С. 69–78.
- [24] ГОСТ 10634–88 Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств. М.: Издательство стандартов, 1988. 8 с.
- [25] ГОСТ 10635–88 Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. М.: Издательство стандартов, 1988. 8 с.
- [26] ГОСТ 10633–2018 Плиты древесно-стружечные и древесно-волокнистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 2018. 12 с.

Сведения об авторах

Скурыдин Юрий Геннадьевич  — канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и электроники ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», skur@rambler.ru

Скурыдина Елена Михайловна — канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», skudem@rambler.ru

Поступила в редакцию 24.01.2022.

Одобрено после рецензирования 18.03.2022.

Принята к публикации 18.05.2022.

BIRCHWOOD PRE-HYDROLYTIC TREATMENT EFFECT ON PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIAL OBTAINED ON ITS BASIS

Yu.G. Skurydin¹ , E.M. Skurydina²

¹Altai State University, 61, Lenin av., 656049, Barnaul, Russia

²Altai State Pedagogical University, 55, Molodezhnaya st., 656031, Barnaul, Russia

skur@rambler.ru

The effects of the birch wood pretreatment with hydrogen peroxide and its subsequent treatment by explosive autohydrolysis on the density, strength in static bending, water absorption and swelling of a composite material obtained on the basis of hydrolyzed wood pulp by hot pressing without the addition of binders are presented. The dependences of the density of the samples, their strength and hydrophobic characteristics on the amount used in the processing of hydrogen peroxide and the conditions of explosive autohydrolysis have been established. The threshold limit of hydrogen peroxide for each of the modes of explosive hydrolysis has been determined.

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

Suggested citation: Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. *Vliyanie predgidroliticheskoy obrabotki drevesiny na fiziko-mekhanicheskie harakteristiki kompozitnogo materiala, poluchaemogo na ee osnove* [Birchwood pre-hydrolytic treatment effect on physical and mechanical characteristics of composite material obtained on its basis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-103-112

References

- [1] Oktay S., Kizilcan N., & Bengu B. Oxidized cornstarch — Urea wood adhesive for interior particleboard production. *International J. of Adhesion and Adhesives*, 2021, vol. 110, p. 102947. DOI:10.1016/j.ijadhadh.2021.102947
- [2] Singh N., Rana A., Badhotiya G.K. Raw material particle terminologies for development of engineered wood. *Materials Today: Proceedings*, 2021. DOI:10.1016/j.matpr.2021.02.616
- [3] Uemura Silva V., Nascimento M.F., Resende Oliveira P., Panzera T.H., Rezende M.O., Silva D.A.L., Christoforo A.L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 285, p. 122906. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.122906
- [4] Steam explosion for biomass pre-treatment. Danish technological institute. Energy & Climate Centre for Renewable Energy and Transport Section for Biomass, 2013, p.15.
- [5] 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
- [6] Skurydin Yu.G., Skurydina E.M., Safin R.G., Khabibullina A.R. *Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki termodrevesnoy kompozitsii iz drevesiny sosny pri barotermicheskoy obrabotke* [Physical and Mechanical Characteristics of a Pine Thermowood Composition during Barothermal Treatment]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2021, no. 2, pp. 143–155. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-143-155
- [7] Startsev O.V. Salin B.N., Skurydin Yu.G. *Barotermicheskiy gidroliz drevesiny v prisutstvii mineral'nykh kislot* [Hydrolysis of Wood in the Presence of Mineral Acids] *Doklady akademii nauk. Himicheskaya tekhnologiya* [Reports of the Academy of Sciences. Chemical Technology], 2000, t. 370, no. 5, pp. 638–641.
- [8] Skurydin Yu.G. *Stroenie i svoystva kompozitsionnykh materialov, poluchennykh iz otkhodov drevesiny posle vzryvnogo gidroliza* [Structure and properties of composite materials obtained from waste wood after the explosive hydrolysis]. *Dis. ... Cand. Sci. (Tech.)*. Altai State Technical University, 2000, 147 p.
- [9] 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, v. 35, pp. 23–32. DOI:10.1016/0960-8524(91)90078-X
- [10] Iogen Corporation. Available at: <https://www.ioген.ca/iogen-technology> (accessed 12.12.2021).
- [11] 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.

- [12] Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like US Patent 1586159 (USA), 1926.
- [13] Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. US Patent 1578609 (USA), 1926.
- [14] Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion. *Applied Energy*, 2015, v. 144, pp. 114–128. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.02.021
- [15] Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. *Vliyaniye usloviy vzryvnogo avtogidroliza na khimicheskiy sostav i fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki kompozitsionnykh materialov, poluchaemykh iz drevesiny listvennitsy sibirskoy* [Influence of explosive autohydrolysis conditions on the chemical composition and physical and mechanical characteristics of composite materials obtained from siberian larch wood]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area]. 2021, v. XXXIX, no. 3, pp. 216–223.
- [16] Kon'shin V.V., Protopopov A.V., Efyushin D.D. *Khimicheskaya pererabotka biomassy rastitel'nogo syr'ya* [Chemical processing of biomass of plant materials]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova* [Bulletin of the Kyrgyz State Technical University. I. Razzakova them. I. Razzakova], 2017, no. 3 (43), pp. 63–66.
- [17] Shiryayev D.V. *Teploizolyatsionnye materialy na osnove modifitsirovannykh metodom vzryvnogo avtogidroliza otkhodov rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Thermal insulation materials based on plant waste modified by explosive autohydrolysis method]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Siberian State Technological University. Barnaul, 2013, 146 p.
- [18] Fockink D.H., Sánchez J.H., Ramos L.P. 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: 10.1016/j.indcrop.2018.07.017
- [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, p. 125558. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125558
- [20] 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: 10.1016/j.biortech.2018.06.045
- [21] 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: 10.1016/j.rser.2019.04.082
- [22] Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocellulosics by steam aqueous pretreatments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [23] Skurydin Yu.G., Skurydina E.M., Safina A.V., Khabibullina A.R. *Faktor zhestkosti vzryvnogo avtogidroliza* [The Factor of Rigidity of Explosive Autohydrolysis]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2019, no. 4, pp. 69–78.
- [24] GOST 10634–88. *Plity drevesnostruzhechnye. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv*. [State Standard 10634–88. Wood particle boards. Methods of determination of physical properties]. Moscow, Publ.Standart, 1988, 8 p.
- [25] GOST 10635–88. *Plity drevesnostruzhechnye. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv*. [State Standard 10635–88. Particle boards. Methods for determining of ultimate strength and modulus of elasticity in bending]. Moscow: Publ. Standart, 1988, 8 p.
- [26] GOST 10633–2018. *Plity drevesno-struzhechnye i drevesno-voloknistye. Obshchie pravila podgotovki i provedeniya fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy* [State Standard 10633–2018. Wood-shaving and wood-fiber plates. General regulations in testing physical and mechanical properties]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 12 p.

Authors' information

Skurydin Yuriy Gennad'evich  — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Altai State University, skur@rambler.ru

Skurydina Elena Mikhaylovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Altai State Pedagogical University, skudem@rambler.ru

Received 24.01.2022.

Approved after review 18.03.2022.

Accepted for publication 18.05.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest