

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПРОПИТОЧНОГО СОСТАВА ДРЕВЕСИНЫ НА ЕЁ ГИДРОФОБИЗАЦИЮ

доктор технических наук, профессор **Л.И. Бельчинская**

студент **К.В. Жужукин**

кандидат химических наук, доцент **Л.А. Новикова**

кандидат технических наук, доцент **А.И. Дмитренко**

кандидат химических наук, доцент **Н.А. Ходосова**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Методом динамического рассеяния света определён размер частиц компонентов состава для пропитки древесины берёзы, изучена степень распределения частиц в объёме пропиточного состава и определена стабильность состава во времени. Установлено наличие в отработанном моторном масле наноразмерных частиц, предположительно асфальтовых соединений, имеющих надмолекулярную структуру. Отмечено снижение степени дисперсности частиц в системе «отработанное моторное масло – 1 % муки хвойных пород древесины» после 21 суток отстаивания. Обнаружено положительное влияние ультразвукового диспергирования на исследованную систему, заключающееся в повышении степени дисперсности наполнителя пропиточного состава и переходе системы в более гомогенное состояние. Этот факт стимулирует массоперенос частиц композиционного состава в объём древесины, повышая её гидрофобность, что установлено по результатам влагопоглощения образцов древесины берёзы. Отмечено снижение на 10 % влагопоглощения древесины берёзы после пропитки отработанным моторным маслом относительно влагопоглощения натуральной древесины. Установлено уменьшение на 15 % влагопоглощения древесины, пропитанной композиционным составом, состоящим из отработанного моторного масла и 1 % древесной муки хвойных пород (сравнение ведётся с данными влагопоглощения натуральной древесины берёзы). Наибольшее снижение влагопоглощения (19 %) отмечено при использовании пропиточного состава, подвергнутого ультразвуковому диспергированию. Таким образом, данный метод способствует диспергированию компонентов композиционного состава, что является причиной интенсификации массопереноса компонентов пропиточного состава в древесину, приводящей к повышению её гидрофобности, определяемой по снижению величины влагопоглощения образцов берёзы.

Ключевые слова: наполнитель, отработанное моторное масло, мука хвойных пород древесины, ультразвук, диспергирование, наноразмерные частицы, асфальтены, влагопоглощение, композиционный состав

INFLUENCE OF ULTRASOUND DISPERSION OF WOOD IMPREGNATING COMPOUND ON ITS HYDROPHOBIZATION

DSc (Engineering), Professor **L.I. Belchinskaya**

Student **K.V. Zhuzhukin**

PhD (Chemistry), Associate Professor **L.A. Novikova**

PhD (Engineering), Associate Professor **A.I. Dmitrenkov**

PhD (Chemistry), Associate Professor **N.A. Khodosova**

FSBEI HE Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh,
Russian Federation

Abstract

The particle size of the components for the impregnation of birch wood has been determined by the method of dynamic light scattering. The degree of particle distribution in the volume of impregnating compound has been studied,

and the composition stability over time has been determined. The presence of nanoscale particles in the used motor oil (presumably asphaltenic compounds with supramolecular structure) has been established. A decrease in the degree of particle dispersion in the system “waste engine oil – 1 % flour of coniferous species” has been noted after 21 days of settling. The positive effect of ultrasonic dispersion on the studied system has been determined which consists in increasing degree of dispersion of impregnating compound filler and the transition of the system to a more homogeneous state. This fact stimulates the mass transfer of compound particles to the volume of wood, increasing its hydrophobicity, which is established from the results of moisture absorption of birch wood specimens. A decrease of 10 % in moisture absorption of birch wood after impregnation with the used engine oil relative to the absorption of natural wood has been noted. A 15 % reduction in moisture absorption of wood impregnated with a composition consisting of used engine oil and 1 % of softwood flour has been established (comparison is made with data of moisture absorption of natural birch wood). The greatest decrease in moisture absorption (19 %) was observed when using an impregnating composition that was subjected to ultrasonic dispersion. Thus, this method contributes to the dispersion of the compound components which is the cause of mass transfer intensification of the components of impregnating compound. It leads to an increase in hydrophobicity of wood, which is determined by reducing the moisture absorption of birch specimens.

Keywords: filler, used engine oil, flour of coniferous woods, ultrasound, dispersion, nanoscale particles, asphaltenes, moisture absorption, composition

Введение

В России и за рубежом проводится поиск и разработка новых, эффективных модифицирующих материалов, способных защитить древесину от внешних воздействий и придать изделиям из древесины комплекс необходимых свойств для повышения её долговечности [1-7]. Одним из направлений расширения диапазона промышленного использования древесины является пропитка её стабилизирующими составами для придания ей формоустойчивости, снижения влаго- и водопоглощения, растрескивания, повышения антисептических показателей. Разработка новых и усовершенствование существующих пропиточных составов является актуальным направлением исследований в деревообработке, имеющим научную значимость и практическое приложение.

В настоящее время активно проводятся исследования по гидрофобизации поверхности древесины золь-гелями на основе силоксанов [2-5]. Принцип их действия заключается в переходе жидких органических соединений путем гидролиза или поликонденсации в гель, который в процессе нагревания переходит в тонкослойное композитное покрытие, создающее на поверхности древесины супергидрофобное покрытие с краевым углом смачивания $>120^\circ$ [2-5]. В связи с тенденцией развития «Зеленых технологий» в России и за рубежом применяют композиционные

составы на основе экологичных материалов, например, масла растений: подсолнечное, рапсовое, льняное и т.д. [8-11].

Еще одним направлением придания водостойкости и формоустойчивости является термическая модификация древесины, позволяющая путем изменения структуры клеточной стенки придать гидрофобные свойства древесине [11, 12]. Применение подобных составов достаточно эффективно для защиты древесины от воды и влаги, однако существенным недостатком данной методики является невозможность ее использования для древесины, используемой в агрессивной среде (болота, низкие температуры, благоприятная среда для дереворазрушающих микроорганизмов).

Традиционные пропиточные составы для древесины, применяемые в агрессивных средах, получены на основе нефтепродуктов, в том числе и отработанные моторные масла [13].

В работе [14] показана перспективность применения в качестве пропиточного состава отработанных моторных масел (ОММ) с введенными наполнителями неорганической и органической природы. Показано, что использование муки древесины хвойных пород (МДХП) в качестве наполнителя придает древесине более высокую водостойкость, биостойкость, а также повышенную формоустойчивость в сравнении с минеральными наполнителями.

Гидрофобные свойства древесины определяются как ее составом и морфологией, так и химической природой модификаторов и наполнителей, физико-химическими свойствами всех компонентов пропиточных составов. При этом скорость массопереноса в процессе пропитки древесины будет существенно определяться степенью дисперсности частиц, входящих в состав импрегнирующей композиции.

Пропиточные составы для древесины на основе моторного масла характеризуются присутствием в них асфальтенов – высокомолекулярных углеводов, имеющих гроздевидную форму молекул и состоящих на 80...89 % из углерода, до 8,5 % водорода, до 8,5 % серы, 3...5 % кислорода, 1...3 % азота и других элементов. Значения молекулярных масс асфальтенов находятся в пределах от 2000-3000 до 240 000-300 000. Значения молекулярных масс в пределах от десяти до трёхсот тысяч соответствуют надмолекулярным частицам асфальтенов, т. е. ассоциатам молекул асфальтенов различной степени сложности [15].

В состав молекулы асфальтена входят фрагменты гетероциклических, алициклических, конденсированных углеводов, состоящие из 5-8 циклов. Крупные фрагменты молекул связаны между собой мостиками, содержащими метиленовые группы и гетероатомы. Наиболее характерные заместители в циклах – алкилы с небольшим количеством углеродных атомов и функциональные группы, например, карбонильная, карбоксильная, меркаптогруппа. Асфальтены склонны к ассоциации с образованием надмолекулярных структур, представляющих собой стопку плоских молекул с расстоянием между ними около 0,40 нм. Содержание асфальтенов в нефтях менее 20 %, в отработанном моторном масле – 3,0-5,0 % [16].

Добавление наполнителя к отработанному моторному маслу увеличивает степень гетерогенности системы и способствует снижению скорости массопереноса в процессе импрегнирования древесины. Для повышения степени гомогенности пропиточной композиции может быть использовано ультразвуковое воздействие, которое благодаря эффекту акустической

кавитации, возникающей в среде при распространении ультразвуковых волн, приводит к увеличению степени дисперсности частиц за счет разрушения агломератов частиц, упорядоченности их распределения в дисперсных системах [17-19]. Предполагается, что надмолекулярные структуры асфальтенов будут разрушаться в условиях воздействия ультразвука на пропиточный состав, что позволит интенсифицировать массоперенос в системе и повысить качество пропитки древесины.

Целью данной работы явилось исследование влияния степени дисперсности компонентов пропиточного состава на гидрофобность древесины. Для этого в работе методом динамического рассеяния света определены размеры и распределение частиц отработанного масла и наполнителя в пропиточных составах, а также проведена оценка стабильности пропиточного состава во времени.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились натуральная и пропитанная древесина березы, отработанное моторное масло, наполнитель в виде муки древесины хвойных пород (МХПД).

Натуральная древесина березы нарезалась на бруски размером 20×20 мм в радиальном и тангенциальном направлениях и 10 мм высотой вдоль волокон и хранилась в воздушно-сухом состоянии.

Для пропитки древесины использовали серию составов на основе отработанного моторного масла и МХПД, которую получали из опилок путем просеивания через сито простого плетения с размером ячейки 25 мкм.

Отработанное моторное масло (ОММ) бензинового двигателя было взято после его работы в течение 10 000-15 000 км. Химический состав ОММ разнообразен из-за изменчивости применяемого сырья для его производства, обилия существующих присадок, различных индивидуальных изменений в процессе работы двигателя и т.д. [20]. В состав базовых автомобильных масел, в основном, входят ароматические углеводороды, полиолефины, парафиновые углеводороды. После длительной работы двигателя в моторных маслах появляются

жидкие продукты окисления, остатки топливных фракций, асфальтены, карбены, карбоиды, механические примеси (окалина, углеродистые частицы, фосфаты и карбонаты кальция), а также продукты деструкции присадок. В результате появляется отход работы автомобиля – отработанное моторное масло (ОММ).

Пропитку образцов древесины композициями осуществляли методом «горяче-холодных ванн», широко применяемым для обработки древесины антисептиками, антипиренами, гидрофобизаторами [21]. Образцы древесины березы помещали в пропиточный состав, прогретый до температуры 120 °С, и выдерживали в течение 20 минут, далее образцы перемещали в идентичный пропиточный состав при комнатной температуре на 20 минут. Образец древесины и воздушная среда в момент перемещения не контактировали. Количество поглощенного древесиной пропиточного состава равнялось 70,4 % от массы образца.

Ультразвуковое диспергирование пропиточного состава проводили на ультразвуковом диспергаторе (гомогенизатор) Sonicator Q500 в течение 30 минут с мощностью 100 Вт и частотой 22 кГц в системе «ОММ – МХПД».

Диаметр частиц и степень их распределения в композитной системе определяли методом динамического рассеяния света на анализаторе размеров частиц PhotocorMini в диапазоне от 1 нм до 10 мкм с погрешностью ± 1 %. Зафиксированный образец освещался когерентным монохроматическим светом. При попадании светового луча на частицы происходило рассеивание света, флуктуация интенсивности рассеянного света соответствует определенной локальной концентрации частиц, находящихся в растворе. На основании полученных величин коэффициента диффузии рассчитывался размер диаметра частиц.

Гидрофобность образцов древесины до и после пропитки различными составами оценивали по показателю ее влагопоглощения по следующей общепринятой методике. Образцы высушивали в бюксах до абсолютно сухого состояния. На дно эксикатора наливали насыщенный раствор соды для создания влажности, близкой к 100 %. Образцы устанавливали боковой

поверхностью на вставку эксикатора так, чтобы они не касались друг друга и стенок эксикатора. Эксикатор закрывали крышкой и выдерживали при температуре (20 ± 2) °С [23].

Результаты и их обсуждение

Любые производные нефти представляют собой дисперсную систему. Дисперсная фаза представлена асфальтенами, относящимися к твердым квазисферическим частицам размером 2-10 нм [24, 25]. На рис. 1 представлено распределение частиц по размерам в образце отработанного масла, где I/I_{\max} – степень рассеивания света в объеме (I) к его максимальному значению (I_{\max}).

Как следует из рис. 1, основной размер частиц, присутствующих в образце ОММ, по-видимому, частиц асфальтенов, представлен диапазоном 0,01-80 нм. Кроме этого, в незначительном количестве присутствуют крупные частицы с размером 1 мкм и более. При работе автомобильного двигателя количество асфальтенов в масле повышается, что объясняет наличие более крупной надмолекулярной дисперсной фазы в образце [24, 25]. Механические примеси в ОММ представлены частицами с размером более 100 нм, представляющими собой окалину и частицы металла, образовавшиеся в результате трения поршней о стенки двигателя.

При добавлении наполнителя в ОММ происходит улучшения процесса смачивания на межфазной границе в системе «ОММ – 1 % МДХП» в результате облегчения протекания сорбционного процесса при снижении энтальпии, энтропии и свободной энергии Гиббса [27]. Результатом перемешивания композиции является более равномерное распределение наполнителя по всему объему пропиточного состава. На рис. 2 представлено распределение частиц в системе «ОММ – 1 % МДХ» после механического перемешивания в течение 30 минут.

Как следует из рис. 2, дисперсная система пропиточного состава «ОММ + 1 % наполнителя» представлена преимущественно фракциями частиц с размером 0,01-40 нм (частицы ОММ) и частицами с диаметром 100 нм и более, что обусловлено присутствием наполнителя.

На рис. 3 представлено распределение частиц по размеру для образца пропиточного состава «ОММ + 1 % МДХП», полученных через 21 сутки после приготовления композиции, с целью выяснения ее стабильности во времени. На рис. 2 проявляется наличие более крупных частиц и соответственное снижение степени распределённости наполнителя в ОММ. Основание самого крупного пика расширилось с сохранением его высоты. Таким образом, исследуемая композиция «ОММ – 1 % МДХП» является достаточно стабильной, что является положительным свойством для её практического использования. При добавлении в отработанное моторное масло наполнителя в виде муки древесины хвойных пород происходит увеличение размера частиц за счёт их слипания между собой, что ухудшает массперенос более крупных частиц разрабатываемого состава в структуру древесины.

Применение метода ультразвукового диспергирования используется для уменьшения размера частиц, гомогенизации системы «ОММ – 1 % МХПД» и более равномерного распределения частиц в системе, что позволит улучшить пропитывающую способность состава. На рис. 4 представлены данные после ультразвукового диспергирования системы «ОММ – 1 % МХПД»

по методике, описанной выше. Как отмечалось ранее, работа ультразвукового гомогенизатора основана на эффекте акустической кавитации, связанной со схлопыванием кавитационных пузырьков и их пульсацией [28].

При сравнении данных рис. 2 и 4 отмечено значительное снижение размеров частиц наполнителя и лучшая их распределённость по объёму ОММ после ультразвукового диспергирования, что позволяет предположить возрастание пропитывающей способности композиции. Также предположительно происходит разрушение агломератов частиц асфальтенов. Это приводит к уменьшению размера частиц и увеличению однородности их размеров. Опосредованным подтверждением этого предположения явились результаты исследований влагопоглощения пропитанных образцов древесины берёзы.

На рис. 5 представлены данные влагопоглощения натуральной древесины берёзы (1), древесины берёзы, пропитанной ОММ (2) и ОММ с 1 % муки древесины хвойных пород (3) и пропитанной ОММ + 1 % муки древесины хвойных пород после воздействия ультразвукового диспергирования (4).

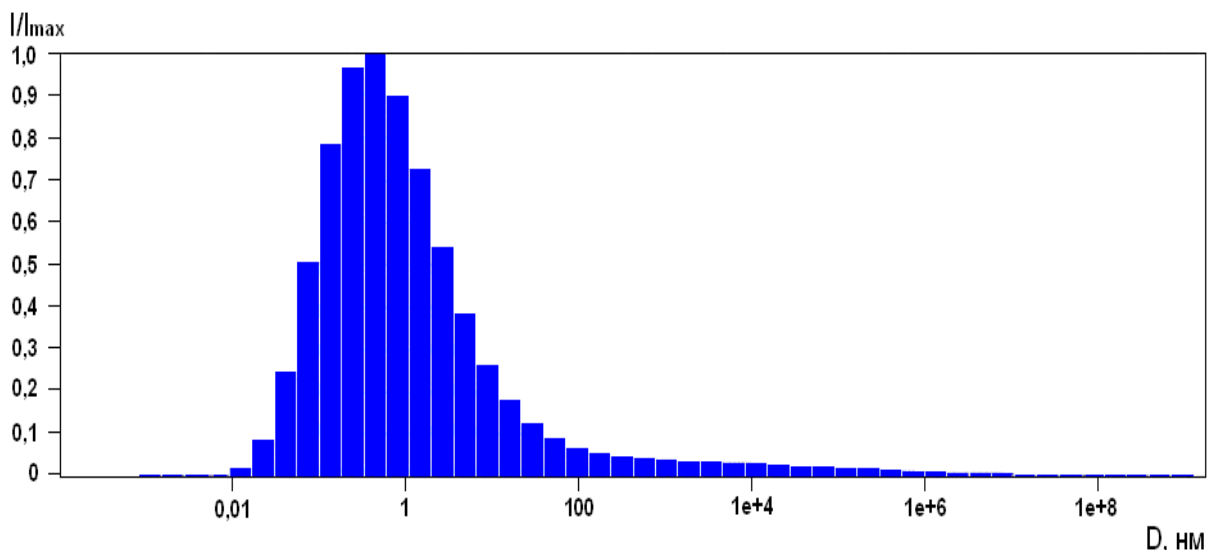


Рис. 1. Распределение частиц по размерам в образце отработанного моторного масла (ОММ)

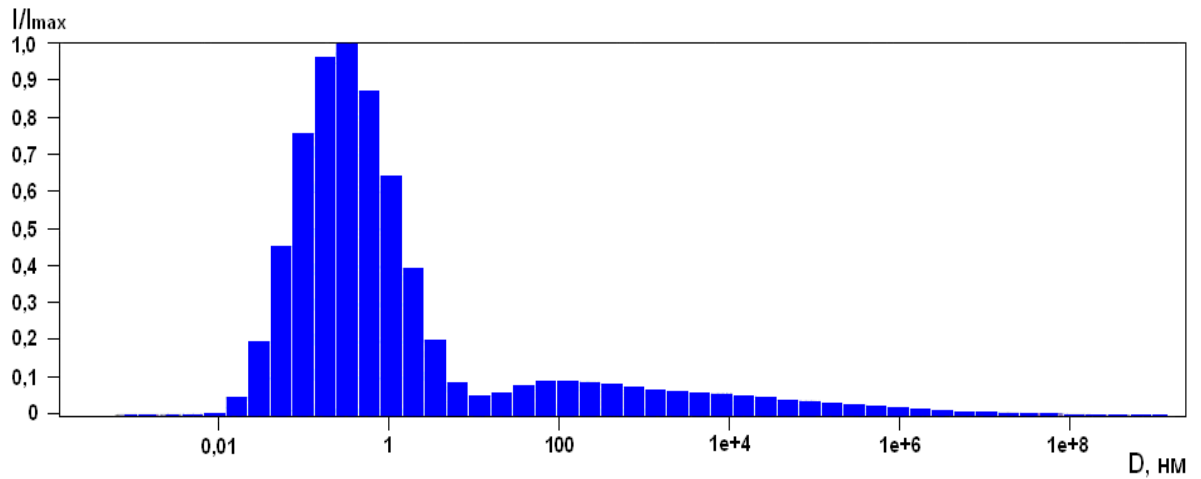


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в образце пропиточного состава «ОММ + 1 % МДХП»

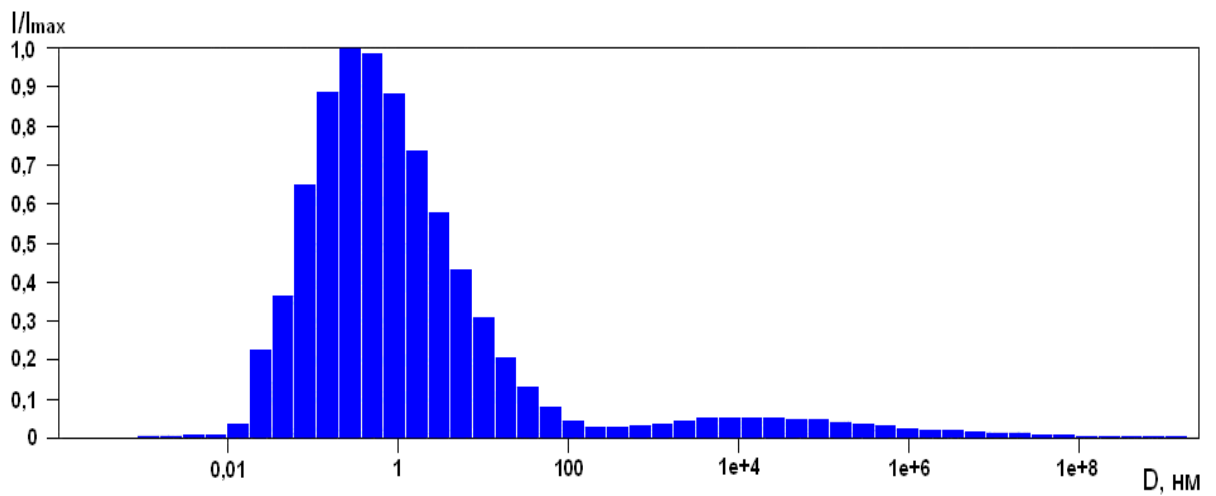


Рис. 3. Распределение частиц в системе «ОММ – 1 % МДХП» через 21 сутки

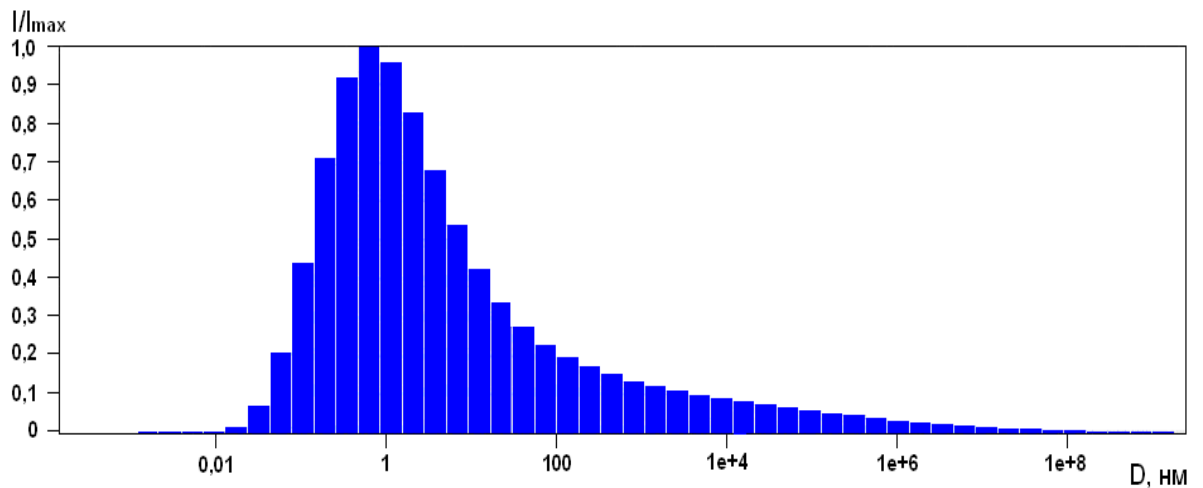


Рис. 4. Распределение частиц в системе «ОММ – 1 % МХПД» после ультразвукового диспергирования

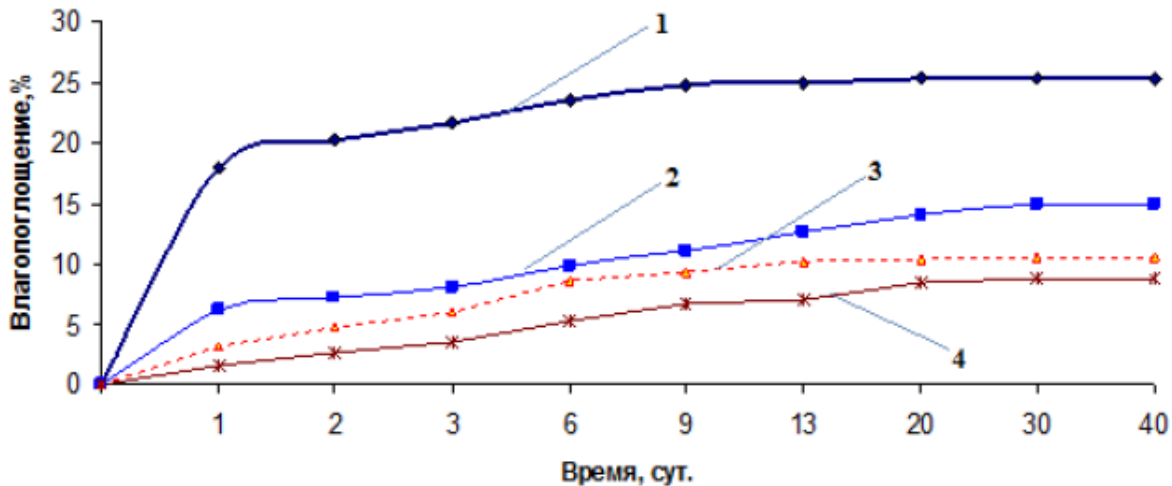


Рис. 5. Кинетическая зависимость влагопоглощения древесины березы после пропитки различными составами: 1 – влагопоглощение натуральной древесины березы; 2 – влагопоглощение древесины, пропитанной ОММ; 3 – влагопоглощение древесины, пропитанной ОММ + 1 % МХПД; 4 – влагопоглощение древесины, пропитанной ОММ + 1 % МХПД после воздействия ультразвукового диспергирования

Следовательно, влагопоглощение образцов натуральной древесины березы после стабилизации (40 суток) составляет 25 %, при пропитке композиционным составом этот показатель снижается до 15 % (рис. 5). Пропитка древесины берёзы композиционным составом, включающим ОММ + 1 % МХПД, гидрофобизирует древесину в большей степени, в результате влагопоглощение снижается до 10 %. После ультразвукового диспергирования системы «ОММ + 1 % МХПД» влагопоглощение достигает 6 %.

Выводы

Методом динамического рассеяния света (ДРС) определён размер частиц в композиционном составе для пропитки древесины берёзы, изучена степень распределения частиц в объёме пропиточного состава и определена стабильность состава во времени. Методом ДРС установлено наличие в ОММ наноразмерных частиц, предположительно асфальтеновых соединений, имеющих сложную надмолекулярную структуру. Отмечено снижение степени дисперсности наполнителя и снижение степени гомогенности системы «ОММ – 1 % МХПД» после 21 суток отстаивания. Обнаружено положительное влияние ультразвукового диспергирования на систему

«ОММ – 1 % МХПД», заключающееся в повышении степени дисперсности наполнителя и переходе системы в более гомогенное состояние в результате лучшей распределенности частиц по объёму. Этот факт стимулирует массоперенос частиц композиционного состава в объём древесины, повышая её гидрофобность, что установлено по результатам влагопоглощения образцов древесины берёзы. Отмечено снижение влагопоглощения древесины березы после пропитки ОММ на 10 % относительно влагопоглощения натуральной древесины. Влагопоглощение древесины уменьшается на 15 % относительно натуральной древесины при её обработке композиционным составом «ОММ + 1 % МХПД». Наиболее значительное снижение влагопоглощения (19 %) отмечено при использовании пропиточного состава «ОММ + 1 % МХПД», обработанного в ультразвуковом поле. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о возможности использования метода ультразвукового диспергирования пропиточного состава для повышения гидрофобных свойств древесины в результате повышения степени дисперсности наполнителя и улучшения его распределенности по объёму состава.

Работа выполнена в рамках проекта госзадания № 11.3960.2017/ПЧ «Разработка технологии и оборудования высокотехнологичного ресурсосберегающего производства модифицированной древесины для выпуска железнодорожных шпал и столбов ЛЭП с улучшенными эксплуатационными показателями».

Авторы статьи благодарят сотрудника кафедры физики полупроводников и микроэлектроники ВГУ доц. Битюцкую Ларису Александровну за помощь в проведении исследований по определению размеров частиц.

Библиографический список

1. Tribulová, T. Impacts of inorganic chemicals used for wood protection: a review / T. Tribulová, F. Kačík, D. V. Evtuguin // ACTA FACULTATIS XYLOGIAE ZVOLEN. – 2017. – No. 59(2). – P. 5-22.
2. Wood surface protection with different alkoxy silanes: a hydrophobic barrier / E. Cappelletto [et al.]. – Cellulose. – 2013. – No. 20. P. 3131. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0038-9>.
3. Гидрофобные силоксановые бумажные покрытия: эффект увеличения замещения метила / Cappelletto E [et al.] // J. Sol-Gel. Sci. Technol. – 2012. – No. 62 (3). – P. 441–452. doi: 10.1007 / s10971-012-2747-1.
4. Preparation of highly hydrophobic and anti-fouling wood using poly(methylhydrogen)siloxane / W. Lin [et al.] // Cellulose. – 2018. – No. 25. P. 7341. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2074-y>.
5. Influence of surface modification of wood with octadecyltrichlorosilane on its dimensional stability and resistance against *Coniophora puteana* and molds / A. Kumar [et al.] // Cellulose. – 2016. – No. 23: 3249-3263. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-1009-8>.
6. Effects of modification with a combination of styrene-acrylic copolymer dispersion and sodium silicate on the mechanical properties of wood / Thi Tham Nguyen [et al.]. // Journal of Wood Science. – 2019. – No. 65. – P. 2. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1783-7>.
7. Cu thin films on wood surface for robust superhydrophobicity by magnetron sputtering treatment with perfluorocarboxylic acid / W. Bao [et al.] // Eur. J. Wood Prod. – 2019. – No. 77. P. 115. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1366-0>.
8. Croitoru, C. A mild method of wood impregnation with biopolymers and resins using 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride as carrier / C. Croitoru, S. Patachia, A. Lunguleasa // Chemical Engineering Research and Design. – 2015. – V. 93. – P. 257-268.
9. Разработка экологических пропиточных составов для модификации древесины / Л. И. Бельчинская, А. И. Дмитренко, К. В. Жужукин, Л. А. Новикова // Комплексные проблемы техносферной безопасности : Матер. Междунар. науч.-практ. конференции. Российская академия наук; Воронежский государственный технический университет. – 2017. – С. 143-146.
10. Utilisation of chemically modified lampante oil for wood protection / M. Schwarzkopf [et al.] // Eur. J. Wood Prod. – 2018. – No. 76. – P. 1471. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1336-6>.
11. Rousset, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by a thermal treatment at high temperature / P. Rousset, P. Perré, P. Girard // HolzRohWerkst. – 2004. – No. 62. – P. 113. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0459-5>.
12. Awoyemi, L. In-treatment cooling during thermal modification of wood in soy oil medium: soy oil uptake, wettability, water uptake and swelling properties / L. Awoyemi, P. A. Cooper, T. Y. Ung // Eur. J. Wood Prod. – 2009. – No. 67. – P. 465. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0346-9>.
13. Dolmatov, L. V. Antiseptics Made from Petroleum Resins / L. V. Dolmatov // ChemTechnol Fuels Oils. – 2005. – No. 41. – P. 241. <https://doi.org/10.1007/s10553-005-0057-9>.
14. Effect of spent engine oil with additives on water and bio resistance of birch and pine wood / L. Belchinskaya [et al.] // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 2 (30). – С. 196-204.

15. Influence of aggregation of asphaltenes on the rheological properties of oil / E. V. Mal'tseva [et al.] // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – Vol. 86. – Iss. 9. – P. 1370-1375. DOI 10.1134/S1070427213090096.
16. Modeling Asphaltene Aggregation with a Single Compound / Bianca Breure [et al.] // *Energy & Fuels*. – 2013. – Vol. 27. – Iss. 1. – P. 172-176. DOI 10.1021/ef3016766.
17. Курьяков, В. Н. Исследование воздействия ультразвукового диспергирования на кинетику агрегации асфальтенов в модельных системах / В. Н. Курьяков // *Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. Электронный научный журнал ИПНГ РАН*. – 2013. – Т. 2. – Вып. 8.
18. Yudin, I. K. Dynamic Light Scattering Monitoring of Asphaltene Aggregation in Crude Oils and Hydrocarbon Solutions / I. K. Yudin, M. A. Anisimov // *Asphaltenes, Heavy Oils, and Petroleomics* / O.C. Mullins, E. Y. Sheu, A. Hammami, A. G. Marshall (eds). – Springer, New York, NY, 2007. – P. 439-468.
19. Evdokimov, I. N. Asphaltene dispersions in dilute oil solutions / I. N. Evdokimov, N. Yu. Eliseev, B. R. Akhmetov // *Fuel*. – 2006. – Vol. 85. – Iss. 10-11. – P. 1465-1472. DOI 10.1016/j.fuel.2006.01.006.
20. Chemical composition of used motor oils / V. A. Litvishkova [et al.]. – *ChemTechnol Fuels Oils*. – 1974. – No. 10. – P. 962. <https://doi.org/10.1007/BF00714224>.
21. ГОСТ 20022.6-93. Защита древесины. Способы пропитки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001785>.
22. ГОСТ 16483.20-72 Древесина. Метод определения влагопоглощения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294852/4294852263.pdf>.
23. *Asphaltenes Fundamentals and Applications* / E. Y. Sheu, O. C. Mullins (eds.). – Plenum Press, New York, 1995.
24. Сюняев, З. И. Нефтяные дисперсные системы / З. И. Сюняев, Р. З. Сюняев, Р. З. Сафиева. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
25. Власов, Ю. А. Метод идентификации механических примесей в смазочном масле автомобильных агрегатов / Ю. А. Власов, О. В. Ляпина, А. Н. Ляпин // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2-8. – С. 1611-1615.
26. Флинн, Г. Физика акустической кавитации в жидкостях / Г. Флинн // *Физическая акустика*; под ред. У. Мезона. – М.: Мир, 1967. – Т. 1. – Ч. Б. – С. 7-138.
27. Light-scattering study of petroleum asphaltene aggregation / Y. G. Burya [et al.] // *Applied Optics*. – 2001. – Vol. 40. – Iss. 24. – P. 4028-4035.

References

1. Tribulová T., Kačík F., Evtuguin D. V. Impacts of inorganic chemicals used for wood protection: a review. *ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN*, 2017, 59(2): 5-22.
2. Cappelletto E. et al. Wood surface protection with different alkoxy silanes: a hydrophobic barrier. *Cellulose*, 2013, 20: 3131. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0038-9>.
3. Cappelletto E et al. *Gidrofobnye siloksanovye bumazhnye pokrytiya: effekt uvelicheniya zameshcheniya metila*. 2012. *J Sol-GelSciTechnol*. 62 (3): 441-452. doi: 10.1007 / s10971-012-2747-1.
4. Lin W. et al. Preparation of highly hydrophobic and anti-fouling wood using poly(methylhydrogen)siloxane. *Cellulose*. 2018. 25: 7341. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2074-y>.
5. Kumar A. et al. Influence of surface modification of wood with octadecyltrichlorosilane on its dimensional stability and resistance against *Coniophora puteana* and molds. *Cellulose*. 2016. 23: 3249. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-1009-8>.
6. Thi Tham Nguyen et al. Effects of modification with a combination of styrene-acrylic copolymer dispersion and sodium silicate on the mechanical properties of wood. *Journal of Wood Science*, 2019, 65:2. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1783-7>.

7. Bao W. et al. Cu thin films on wood surface for robust superhydrophobicity by magnetron sputtering treatment with perfluorocarboxylic acid. *Eur. J. Wood Prod.* 2019, 77: 115. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1366-0>.
8. Croitoru C., Patachia S., Lunguleasa A. A mild method of wood impregnation with biopolymers and resins using 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride as carrier. *Chemical Engineering Research and Design*, 2015. V. 93. P. 257-268.
9. Bel'chinskaya L. I., Dmitrenkov A. I., Zhuzhukin K. V., Novikova L.A. *Razrabotka ekologichnykh propitochnykh sostavov dlya modifikatsii drevesiny. Kompleksnye problemy tekhnosfernoy bezopasnosti Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* Rossiyskaya akademiya nauk; Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2017. S. 143-146 (in Russian).
10. Schwarzkopf M. et al. Utilisation of chemically modified lampante oil for wood protection. *Eur. J. Wood Prod.* 2018, 76: 1471. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1336-6>.
11. Rousset P., Perré P., Girard P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by a thermal treatment at high temperature. *HolzRohWerkst.* 2004. 62: 113. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0459-5>.
12. Awoyemi L., Cooper P. A. Ung T. Y. In-treatment cooling during thermal modification of wood in soy oil medium: soy oil uptake, wettability, water uptake and swelling properties. *Eur. J. Wood Prod.* 2009, 67: 465. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0346-9>.
13. Dolmatov L. V. Antiseptics Made from Petroleum Resins. *ChemTechnol Fuels Oils.* 2005, 41: 241. <https://doi.org/10.1007/s10553-005-0057-9>.
14. Belchinskaya L., Zhuzhukin K., Novikova L., Dmitrenkov A., Sedliachik Ya. Effect of spent engine oil with additives on water and bio resistance of birch and pine wood. *Lesotekhnicheskii zhurnal.* 2018. T. 8. № 2 (30). S. 196-204.
15. Mal'tseva E. V. et al. Influence of aggregation of asphaltenes on the rheological properties of oil Russian *Journal of Applied Chemistry*, 2013, Vol. 86, Iss. 9, pp. 1370-1375, DOI 10.1134/S1070427213090096.
16. Breure B. et al. Modeling Asphaltene Aggregation with a Single Compound. *Energy & Fuels.* 2013, Vol. 27, Iss. 1, pp. 172-176, DOI 10.1021/ef3016766.
17. Kur'yakov V. N. *Issledovanie vozdeystviya ul'trazvukovogo dispergirvaniya na kinetiku agregatsii asfal'tenov v model'nykh sistemakh. Georesursy, geoenergetika, geopolitika. Elektronnyy nauchnyy zhurnal IPNG RAN.* 2013, Vol. 2, Iss. 8 (in Russian).
18. Yudin I. K., Anisimov M. A. Dynamic Light Scattering Monitoring of Asphaltene Aggregation in Crude Oils and Hydrocarbon Solutions. In: *Asphaltenes, Heavy Oils, and Petroleomics* / O.C. Mullins, E. Y. Sheu, A. Hammami, A. G. Marshall (eds). Springer, New York, NY, 2007. P. 439-468.
19. Evdokimov I. N., Eliseev N. Yu., Akhmetov B. R. Asphaltene dispersions in dilute oil solutions. *Fuel*, 2006, Vol. 85, Iss. 10-11, pp. 1465-1472, DOI 10.1016/j.fuel.2006.01.006.
20. Litvishkova V. A. et al. Chemical composition of used motor oils. *ChemTechnol Fuels Oils.* 1974. 10: 962. <https://doi.org/10.1007/BF00714224>.
21. GOST 20022.6-93. Zashchita drevesiny. Sposoby propitki (in Russian).
22. GOST 16483.19-72 Drevesina. Metod opredeleniya vlagopogloshcheniya (in Russian).
23. Sheu E. Y., Mullins O. C. (eds.). *Asphaltenes Fundamentals and Applications*, Plenum Press, New York, 1995.
24. Syunyaev Z. I., Syunyaev R. Z., Safieva R. Z. *Neftyanye dispersnye sistemy.* M.: Khimiya, 1990 (in Russian).
25. Vlasov Yu. A., Lyapina O. V., Lyapin A. N. Metod identifikatsii mekhanicheskikh primesey v smazochnom masle avtomobil'nykh agregatov. *Fundamental'nye issledovaniya.* 2015. № 2-8. S. 1611-1615.
26. Flinn G. *Fizika akusticheskoy kavitatsii v zhidkostyakh.* In: *Fizicheskaya akustika* / pod red. U. Mezona. M.: Mir, 1967. T. 1, Ch. B, s. 7-138 (in Russian).
27. Burya Y. G. et al. Light-scattering study of petroleum asphaltene aggregation. *Applied Optics.* 2001, Vol. 40, Iss. 24, pp. 4028-4035, DOI 10.1364/AO.40.004028.

Сведения об авторах

Бельчинская Лариса Ивановна – заведующая кафедрой химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chem@vglta.vrn.ru.

Жужукин Константин Викторович – студент третьего курса лесопромышленного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kinkon18@yandex.ru.

Новикова Людмила Анатольевна – доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат химических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: yonk@mail.ru.

Дмитренков Александр Иванович – доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chem@vglta.vrn.ru.

Ходосова Наталья Анатольевна – доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат химических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chem@vglta.vrn.ru.

Information about authors

Belchinskaya Larisa Ivanovna – Professor, chairwoman of the department of chemistry at the FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: chem@vglta.vrn.ru.

Zhuzhukin Konstantin Viktorovich – 3rd year student of woodworking faculty at the FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; e-mail: kinkon18@yadnex.ru.

Novikova Lyudmila Anatolyevna – Associate Professor at the department of chemistry at the FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Chemistry, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: yonk@mail.ru.

Dmitrenkov Alexander Ivanovich – Associate Professor at the department of chemistry at the FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: chem@vglta.vrn.ru.

Khodosova Natalya Anatolyevna – Associate Professor at the department of chemistry at the FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Chemistry, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: chem@vglta.vrn.ru.