

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ ОТРАБОТАННЫМ РАСТИТЕЛЬНЫМ МАСЛОМ

кандидат технических наук, доцент **А.И. Дмитренко**¹

доктор технических наук, старший научный сотрудник **С.С. Никулин**²

кандидат технических наук, старший преподаватель **Н.С. Никулина**³

студент **А.М. Боровской**¹

студент **Е.А. Недзельская**¹

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

2 – ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж, Российская Федерация

3 – Воронежский институт-филиал ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России», г. Воронеж, Российская Федерация

Древесина широко используется в различных отраслях промышленного производства. Однако присущая натуральной древесине способность впитывать воду и другие недостатки требуют её модификации различными составами. В работе изучена технология пропитки древесины березы отработанным растительным маслом, которое остается после приготовления пищи. Введение в предварительно подготовленную древесину березы пропиточного состава проводили способом «горяче-холодных ванн» с последующей термообработкой пропитанной отработанным подсолнечным маслом древесины. Оценку влияния основных количественных параметров процесса пропитки на показатели древесных образцов проводили с применением планирования эксперимента по схеме греко-латинского квадрата четвертого порядка. Изучено влияние температуры пропиточного масла, времени пропитки, температуры и продолжительности термообработки на свойства модифицированной древесины. Свойства древесины березы оценивали по ее водопоглощению, а также разбуханию образцов в радиальном и тангенциальном направлениях. Получены уравнения регрессии, описывающие влияние основных параметров процесса пропитки отработанным подсолнечным маслом на свойства модифицированной древесины. Установлены наилучшие условия введения отработанного подсолнечного масла в древесину. Предлагаемый пропиточный состав улучшает декоративные свойства древесины, не имеет запаха и обладает экологической безопасностью. Показано, что обработка древесины березы отработанным растительным маслом позволяет получить модифицированную древесину, обладающую повышенной устойчивостью к действию воды.

Ключевые слова: древесина березы, отработанное растительное масло, пропитка, модификация, водопоглощение, разбухание

RESEARCH OF THE PROCESS OF BIRCH WOOD IMPREGNATION WITH THE USED VEGETABLE OIL

PhD (Engineering), Associate Professor **A.I. Dmitrenkov**¹

DSc (Engineering), Senior researcher **S.S. Nikulin**²

PhD (Engineering), Senior lecturer **N.S. Nikulina**³

student **A.M. Borovskoy**¹

student **E.A. Nedzelskaya**¹

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

2 – Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education "Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy", the Ministry of Defense of the Russian Federation, Voronezh, Russian Federation

3 – Voronezh Institute-Branch of FSBEI HE "Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia", Voronezh, Russian Federation

Abstract

Wood is widely used in various industries. However, the inherent ability of natural wood to absorb water and other disadvantages require its modification with various compositions. In the work, the technology of impregnation of birch wood with processed vegetable oil, which remains after cooking, has been studied. Impregnated composition was introduced into pre-prepared wood using the "hot-cold baths" method and subsequent heat treatment of wood impregnated with used sunflower oil. The influence of the main quantitative parameters of the impregnation process on the performance of wood specimens have been made using the design of the experiment according to the Greek-Latin square pattern of the fourth order. The influence of the temperature of the impregnating oil, the time of impregnation, temperature and the duration of the heat treatment on the properties of modified wood has been studied. The properties of birch wood has been evaluated by its water absorption, as well as swelling of specimens in the radial and tangential directions. The regression equations have been obtained. They describe the influence of the main parameters of the impregnation process with processed sunflower oil on the properties of modified wood. The best conditions for introducing processed sunflower oil into wood have been established. The proposed impregnating composition improves decorative properties of wood. It is odorless and environmentally friendly. It has been shown that treating birch wood with processed vegetable oil makes it possible to obtain modified wood with increased resistance to water.

Keywords: birch wood, processed vegetable oil, impregnation, modification, water absorption, swelling

Введение

В промышленности, строительстве и в быту широко применяются натуральная древесина и древесные материалы. Этому способствует редкое сочетание ценных свойств древесины, таких как возобновляемость, высокая удельная прочность, хорошие теплоизоляционные свойства, обрабатываемость на станках и другие.

Однако натуральная древесина имеет и целый ряд недостатков: изменчивость свойств, анизотропность, наличие разнообразных пороков, горючесть, способность поглощать воду и влагу из окружающей среды, приводящая к повышению веро-

ятности повреждения различными грибами, увеличению размеров, формы, веса и снижению прочности. Такие недостатки древесины требуют её модификации различными веществами и составами. Для модификации и улучшения свойств натуральной древесины разных пород применяют разнообразные органические мономеры и их композиции с целевыми добавками [1–3]. Получаемые модифицированные материалы имели однородный состав, уменьшенное разбухание, более высокие прочностные показатели, повышенную водостойкость, а также стойкость к агрессивным средам. Перспек-

тивными с точки зрения экологии являются покрытия на основе силикона [4–6].

Авторами [7, 8] разработаны новые составы для пропитки древесины, содержащие отработанное моторное масло и древесную муку. В качестве пропиточных исследованы такие масла, как моторное, трансмиссионное, кукурузное и подсолнечное. В качестве наполнителя использовали древесную муку хвойных и лиственных пород, муку коры дуба, березы и сосны. Применение в составе композиции на основе отработанного моторного масла древесной муки значительно повышает содержание пропиточного состава в древесине березы, уменьшает водопоглощение и разбухание древесины в тангенциальном и радиальном направлениях.

В настоящее время к пропиточным составам, применяемым для повышения срока службы древесных изделий, предъявляются всё более жесткие требования с точки зрения экологии. Перспективными и экологичными модификаторами древесины являются отходы растительных масел.

Отработанные растительные масла и другие отходы на основе растительных масел используют в качестве биотоплива для дизельных двигателей [9, 10], в качестве пластифицирующих добавок в строительной индустрии [11], а отходы некоторых масел применяют в качестве смазочных материалов [12]. Так, замена нефтяного топлива на топливо на основе отходов растительного масла позволит [10] заметно уменьшить токсичность отработанных газов и улучшить экологию городской среды.

Авторами [13] рекомендовано использовать отходы растительных и минеральных масел для защитной обработки антикоррозионной бумаги.

В разработке [14] представлена возможность применения использованных масел растительного происхождения для повышения формоустойчивости натуральной древесины. Отмечено, что насыщение водой образцов древесины березы, содержащей вторичное кукурузное и подсолнечное масла, было значительно ниже, чем у натуральной древесины. На основе полученных результатов сделано заключение: самыми низкими показателями по разбуханию обладают образцы древесины березы, содержащие в своем составе отработанное подсолнечное масло [14].

Цель работы – изучение влияния технологических параметров пропитки древесины отработанным растительным маслом на свойства модифицированной древесины и выбор наилучших условий процесса пропитки с использованием методов оптимизации эксперимента.

Объекты и методы исследования

В данной работе для исследований использовали образцы древесины березы размером 2×2 см и высотой вдоль волокон 3 см. Оценку пропиточного состава проводили по следующим показателям: водопоглощение за 30 суток нахождения в дистиллированной воде (ГОСТ 16483.20-72), разбухание в тангенциальном и радиальном направлениях (ГОСТ 16483.35-88). В качестве пропиточного состава древесины использовали отработанное рафинированное подсолнечное масло, которое остается после приготовления пищи и является утилизируемым отходом производства.

Образцы древесины березы высушивали до абсолютно сухого состояния. Предварительно подготовленные древесные образцы погружали в пропиточный состав, нагретый до заданной температуры, и выдерживали в течение определенного времени, а затем переносили в холодное масло с комнатной температурой. Продолжительность пропитки в горячем растительном масле равнялась времени нахождения в холодном пропиточном составе. Вхождение пропитывающего состава в полость древесины осуществляется за счет перепада давления, возникающего в образце вследствие погружения нагретой древесины в холодное растительное масло.

Для изучения процесса введения в состав древесины березы отработанного рафинированного подсолнечного масла использовали метод планирования эксперимента по методике [15]. Изучено влияние температуры пропиточного состава, времени пропитки древесины, температуры и продолжительности термообработки на свойства модифицированной древесины. Были выбраны следующие значения указанных факторов:

температура пропитки (фактор А) – 30, 60, 90, 120 °С;

продолжительность пропитки (фактор В) – 30, 60, 90, 120 мин;

температура термообработки (фактор С) – 100, 120, 140, 160 °С;

продолжительность термообработки (фактор D) – 1, 3, 5, 7 ч.

Для образцов модифицированной древесины определяли водопоглощение и разбухание в радиальном и тангенциальном направлениях через два часа, одни, десять и тридцать суток путем их выдерживания в дистиллированной воде.

Результаты и обсуждение

Как следует из анализа результатов эксперимента, с увеличением температуры и продолжительности пропитки отработанным растительным маслом уменьшается водопоглощение и разбухание древесины березы в радиальном и тангенциальном направлениях. Растительные масла в виде тонкого слоя на поверхности древесины на воздухе под действием кислорода, ультрафиолетового света и температуры полимеризуются и твердеют. Это свойство связано с наличием в растительных маслах полиненасыщенных жирных кислот, таких как линолевая и линоленовая. Так как в подсолнечном масле таких кислот меньше, чем в других растительных маслах, и процесс их затвердевания на воздухе протекает достаточно медленно, это требует применения термообработки полученных модифицированных образцов древесины. При нагревании в растительном масле разлагаются вещества, которые замедляют процесс высыхания масла и затвердевания поверхностного слоя. Как показал эксперимент, с повышением температуры термообработки пропитанных растительным маслом образцов улучшаются показатели водостойкости древесины березы. В то же время продолжительность термообработки слабо влияет на водопоглощение и разбухание древесины.

На основе экспериментальных результатов составлены уравнения регрессии, позволяющие описать влияние доминирующих технологических параметров на модифицирующую обработку натуральной древесины растительным маслом с оценкой устойчивости их к действию воды после испытания в течение 1 и 30 суток.

После выдерживания образцов древесины в дистиллированной воде в течение 30 суток уравнения регрессии имеют следующий вид:

– водопоглощение, %

$$Y(A, B, C, D) = 1,487 \times 10^{-5} \times (67,17 - 0,327a) \times (41,375 - 0,0076b) \times (55,023 - 0,1089c) \times (40,9 - 0,025d);$$

– разбухание в тангенциальном направлении, %

$$Y(A, B, C, D) = 9,2077 \times 10^{-4} \times (13,055 - 0,0361a) \times (10,53 - 0,0033b) \times (13,2 - 0,0224c) \times (10,392 - 0,028d);$$

– разбухание в радиальном направлении, %

$$Y(A, B, C, D) = 1,7067 \times 10^{-3} \times (10,385 - 0,0262a) \times (8,595 - 0,003b) \times (11,444 - 0,0236c) \times (8,686 - 0,079d).$$

По полученным экспериментальным данным были построены графические зависимости, которые показывают влияние изученных факторов на показатели водостойкости пропитанной отработанным подсолнечным маслом древесины (рис. 1, а, б, в).

По полученным уравнениям регрессии установлены требуемые условия модификации образцов древесины березы отработанным подсолнечным маслом. Обнаружено, что наиболее благоприятной является температура пропитки 120 °С.

Отработанное растительное масло обладает инертностью к металлам и древесине, требуемой для пропиточных составов. Введенное в древесину подсолнечное масло не будет вызывать коррозию металлов, входящих в состав крепёжных деталей деревянных изделий и оборудования для пропитки.

Заключение

Следует отметить, что отработанное растительное масло благодаря низкой вязкости обладает хорошей пропитывающей способностью для древесины. Увеличение температуры пропитки существенно повышает количество вводимого модифицирующего состава.

Наиболее сильное влияние на свойства пропитанной отработанным растительным маслом древесины березы оказывают температура и продолжительность пропитки, а также температура термообработки образцов.

Предлагаемый пропиточный состав на основе отработанного растительного масла не имеет запаха и обладает экологической безопасностью для человека и животных.

Пропитка древесины отработанным растительным маслом улучшает декоративные свойства поверхности древесины, ее эстетичность, проявляя природную структуру дерева.

Обработка древесины березы отработанным растительным маслом позволяет улучшить свой-

ства древесины, такие как водопоглощение, разбухание в тангенциальном и радиальном направлениях. Таким образом, отработанное растительное масло можно рекомендовать для защитной обработки товарной древесины при хранении и древесных материалов в процессе их эксплуатации.

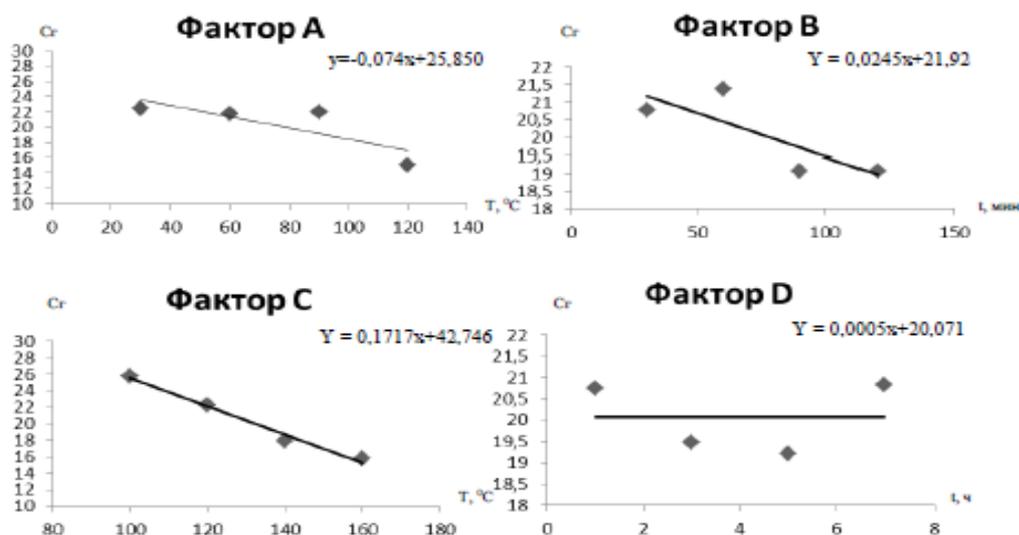


Рис. 1, а. Водопоглощение (%) образцов модифицированной древесины в зависимости от температуры пропитки (фактор А); от продолжительности пропитки (фактор В); от температуры термообработки (фактор С) и от продолжительности термообработки (фактор D)

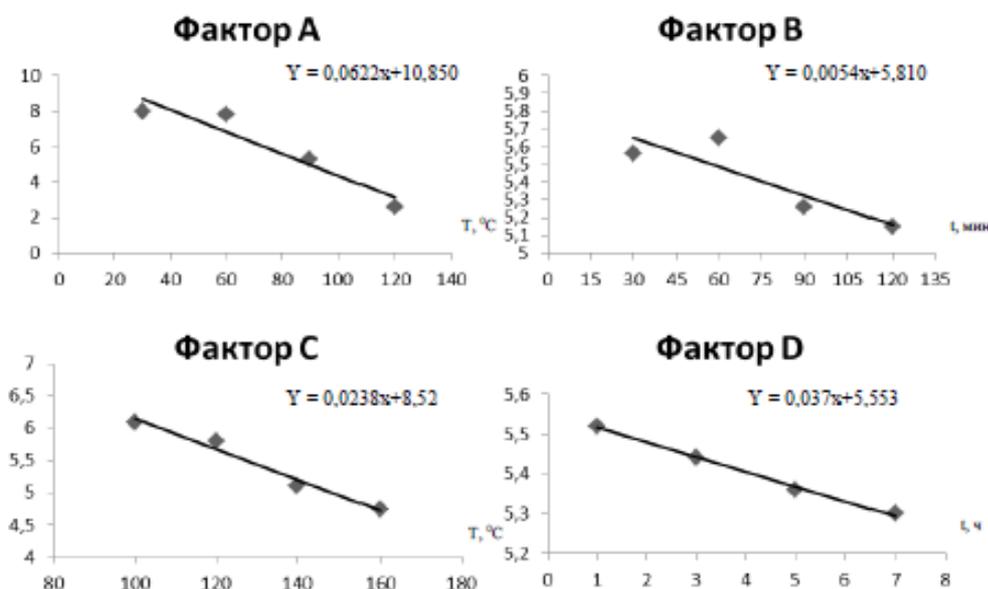


Рис. 1, б. Разбухание в тангенциальном направлении (%) образцов модифицированной древесины в зависимости от температуры пропитки (фактор А); от продолжительности пропитки (фактор В); от температуры термообработки (фактор С) и от продолжительности термообработки (фактор D)

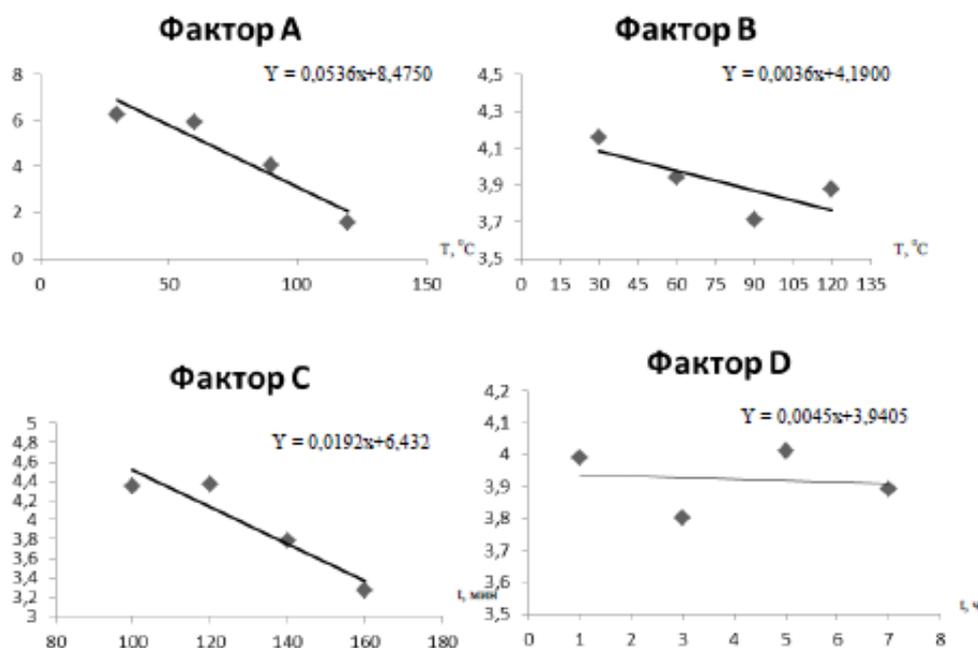


Рис. 1, в. Разбухание в радиальном направлении (%) образцов модифицированной древесины в зависимости от температуры пропитки (фактор А); от продолжительности пропитки (фактор В); от температуры термообработки (фактор С) и от продолжительности термообработки (фактор D)

Библиографический список

1. Improvement of wood properties with multifunctional monomers / Z. I. Mathias [et. al.] // *Polum. Prepr. Amer. Chem. Soc.* – 1990. – Vol. 31. – № 1. – P. 646–647.
2. Studies of physico-mechanical properties of wood and wood plastic composite (WPC) / M. A. Khan [et. al.] // *J. Appl. Polym. Sci.* – 1992. – Vol. 45. – № 1. – P. 167–172. – DOI: 10.1002/app.1992.070450119. – ISSN 0021-8995.
3. Khan, M. A. Effect of Moisture and Heat on Mechanical Properties of Wood and Wood-Plastic Composite / M. A. Khan, K. M. Ali // *Polym. Plast. Technol. and Eng.* – 1993. – Vol. 32. – № 1-2. – P.5. – DOI: 10.1080/03602559308020151. – ISSN 0360-2559.
4. Effects of modification with a combination of styrene-acrylic copolymer dispersion and sodium silicate on the mechanical properties of wood / Thi Tham Nguyen, Zefang Xiao, Wenbo Che [et al.] // *Journal of Wood Science.* – 2019. – Vol. 65. – P. 2. – DOI: 10.1186/s10086-019-1783-7.
5. Wood surface protection with different alkoxy silanes: a hydrophobic barrier/ E. Cappelletto, S. Maggini, F. Girardi [et al.] // *Cellulose.* – 2013. – Vol. 20. – P. 3131–3141. – DOI: 10.1007/s10570-013-0038-9.
6. Hydrophobic siloxane paper coatings: the effect of increasing methyl substitution / E. Cappelletto, E. Callone, R. Campostrini [et al.] // *J. Sol-Gel. Sci. Technol.* – 2012. – Vol. 62 (3). – P. 441–452. – DOI: 10.1007/s10971-012-2747-1.
7. Влияние отработанного моторного масла и наполнителей на водо- и биостойкость древесины березы и сосны / Л. И. Бельчинская, К. В. Жужукин, Л. А. Новикова [и др.] // *Лесотехнический журнал.* – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 196–204 (на англ. яз.). – DOI: 10.12737/article_5b2406191848a1.09510619. – Библиогр.: с. 202–203. – ISSN 2222-7962.
8. Elaboration of a composition based on spent engine oil and wood flour for birch wood impregnation and railway sleepers production / L. I. Belchinskaya, K. V. Zhuzhukin, A. I. Dmitrenkov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2019. – Vol. 392. – P. 012075. – International scientific and practical conference "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions" 23–24 October 2019, Voronezh, Russia

(Forestry-2019). – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/392/1/012075/pdf>. – DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012075.

9. К вопросу об использовании биотоплива в дизельных двигателях / П. А. Болоев, М. К. Бураев, А. В. Шистеев, Т. В. Бодякина // Вестник ВСГУТУ. – 2018. – № 3 (70). – С. 31–36. – Библиогр.: с. 35–36. – ISSN 2413-1997.

10. Бураев, М. К. Особенности использования биотоплива в дизельных двигателях / М. К. Бураев, Т. В. Бодякина // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019. – № 30. – С. 13–19. – Библиогр.: с. 18–19.

11. Свицерский, В. А. Использование отработанного растительного масла в качестве пластифицирующей добавки / В. А. Свицерский, В. В. Токарчук, А. Ю. Флейшер // Техника и технология силикатов. – 2014. – Т. 21. – № 3. – С. 18–25. – Библиогр.: с. 25.

12. Эффективное использование смазочных материалов [Производство смазочных материалов из растительных масел и отходов их производства, очистка отработанных масел биопродуктами] / В. В. Остриков, Н. Н. Тупотилов, А. Г. Зимин, В. В. Белогорский // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 7. – С. 16–20. – Библиогр.: с. 20.

13. Голубев, М. И. Испытания прочности антикоррозионной бумаги на основе отходов производства растительных масел и отработанных минеральных масел / М. И. Голубев // Наука в центральной России. – 2015. – № 6 (18). – С. 5–10. – Библиогр.: с. 8–10. – ISSN 2305-2538.

14. Разработка экологичных 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. – Воронеж, 2017. – Ч. III. – С. 143–146. – Библиогр.: с. 145–146.

15. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования эксперимента / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. – Москва : ДеЛи-Принт, 2005. – 296 с. – ISBN 5-94343-096-2.

References

1. Mathias Z.I. (et al.) (1990) Improvement of wood properties with multifunctional monomers. *Polum. Prepr. Amer. Chem. Soc.*, Vol. 31, № 1, pp. 646-647.

2. Khan M.A. (et al.) (1992) Studies of physico-mechanical properties of wood and wood plastic composite (WPC). *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 45, № 1, pp. 167-172. DOI: 10.1002/app.1992.070450119. ISSN 0021-8995.

3. Khan M.A., Ali K.M. (1993) Effect of Moisture and Heat on Mechanical Properties of Wood and Wood-Plastic Composite. *Polym. Plast. Technol. and Eng.*, Vol. 32, № 1-2, p. 5. DOI: 10.1080/03602559308020151. ISSN 0360-2559.

4. Thi Tham Nguyen, Zefang Xiao, Wenbo Che (et al.) (2019) Tham Effects of modification with a combination of styrene-acrylic copolymer dispersion and sodium silicate on the mechanical properties of wood. *Journal of Wood Science*, Vol. 65, p. 2. DOI: 10.1186/s10086-019-1783-7.

5. Cappelletto E., Maggini S., Girardi F. (et al.) (2013) Wood surface protection with different alkoxy silanes: a hydrophobic barrier. *Cellulose*, Vol. 20, pp. 3131-3141. DOI: 10.1007/s10570-013-0038-9.

6. Cappelletto E., Callone E., Camprostrini R. (et al.) (2012) Hydrophobic siloxane paper coatings: the effect of increasing methyl substitution. *J. Sol-Gel. Sci. Technol.*, Vol. 62 (3), pp. 441-452. DOI: 10.1007 / s10971-012-2747-1.

7. Belchinskaya L.I., Zhuzhukin K.V., Novikova L.A. (et al.) (2018) Influence of spent engine oil and fillers on water and biostability of birch and pine wood. *Lesotechnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 8, No. 2, pp. 196-204. DOI: 10.12737/article_5b2406191848a1.09510619. ISSN 2222-7962.

8. Belchinskaya L.I., Zhuzhukin K.V., Dmitrenkov A.I. (et al.) Elaboration of a composition based on spent engine oil and wood flour for birch wood impregnation and railway sleepers production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 392. 012075. *International scientific and practical conference "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions" 23-24 October 2019, Voronezh, Russia (Forestry-2019)*. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/392/1/012075/pdf>. DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012075.

9. Boloev P.A., Buraev M.K., Shisteev A.V., Bodyakina T.V. (2018) On the use of biofuels in diesel engines. *Bulletin of VSGUTU*, № 3 (70), pp. 31-36 (in Russian). ISSN 2413-1997.
10. Buraev M.K., Bodyakina T.V. (2019) Features of the use of biofuels in diesel engines. *Actual issues of agricultural science*, № 30, pp. 13-19 (in Russian).
11. Svidersky V.A., Tokarchuk V.V., Fleisher A.Yu. (2014) Use of waste vegetable oil as a plasticizing additive. *Technique and technology of silicates*, Vol. 21, No. 3, pp. 18-25 (in Russian).
12. Ostrikov V.V., Tupotilov N.N., Zimin A.G., Belogorsky V.V. (2010) Effective use of lubricants [Production of lubricants from vegetable oils and waste of their production, cleaning of waste oils with bioproducts]. *Technology and equipment for the village*, No. 7, pp. 16-20 (in Russian).
13. Golubev M.I. (2015) Testing the strength of anticorrosive paper based on waste production of vegetable oils and spent mineral oils. *Science in Central Russia*, № 6 (18), pp. 5-10 (in Russian). ISSN 2305-2538.
14. Belchinskaya L.I., Dmitrenkov A.I., Zhuzhukin K.V., Novikova L.A. Development of eco-friendly impregnating compounds for wood modification. *Complex problems of technospheric safety: proceedings of the international research. scientific-practical conference. Voronezh, 2017. Part III*, pp. 143-146 (in Russian).
15. Grachev Yu.P., Plaksin Yu.M. Mathematical methods of experiment planning. Moscow: Deli-Print, 2005. 296 p. (in Russian). ISBN 5-94343-096-2.

Сведения об авторах

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

Никулин Сергей Саввович – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru.

Никулина Надежда Сергеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель Воронежского института - филиала ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru.

Боровской Александр Михайлович – студент 3 курса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Natursection@gmail.com.

Недзельская Екатерина Алексеевна – студент 3 курса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Natursection@gmail.com.

Information about authors

Dmitrenkov Aleksandr Ivanovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: chem@vgtu.ru.

Nikulin Sergey Savvovich – DSc (Engineering), Professor, Senior Researcher, Military Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh, Russian Federation; e-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru.

Nikulina Nadezhda Sergeevna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, Voronezh Institute - a branch of FSBEI HE "Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia", Voronezh, Russian Federation; e-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru.

Borovskoy Aleksandr Mikhailovich – 3rd year student, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: Natursection@gmail.com.

Nedzelskaya Ekaterina Alekseevna – 3rd year student, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: Natursection@gmail.com.