

References

1. Chubinskii A.N. The formation of adhesive joints of wood SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 1992. 164 p.
2. Troshkin S.N. The formation of coatings joinery a waterborne paint method of loading: the dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1990. 17 p.
3. Plotnikov N.P. Mathematical model of heat and mass transfer in the process of gluing veneer sheets of high humidity // Systems. Methods. Technologies. 2016. № 3 (31). P. 161-167.
4. Artemova V.P., Ganzha L., Zhuravskii G. On the heating of the glued laminated wood when you change its thickness pressing process // Mekhanicheskaya tekhnologiya drevesiny sb. nauch. st. Minsk, 1976. Vyp. 6. P. 96-101.
5. Ozarkiv I.M., Soroka L.Ya., Gritsyuk Yu.I. Basics of aerodynamics and heat and mass transfer. Kiev: IZMN, 1997. 280 p.
6. Nikitin V.M. Chemistry of wood and pulp. M.; L.: Goslesbumizdat, 1951. 496 p.
7. Young R.A., Fujita M., River V.N. New approaches to wood bonding a base-activated lignin adhesive system // Wood Science and Technology, 1985. № 19. P. 363-381.
8. Liptáková E., Sedláčik M. Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle. Bratislava: Alfa, 1989. 520 p.
9. Plotnikov N.P., Denisov S.V. Optimization of technological modes of bonding of plywood adhesive compositions modified // The Bulletin of KrasGAU. 2010. Vyp. 5. P. 143-148.
10. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Improvement of the technology of production wood-based panels materials. Novosibirsk: NP «SibAK», 2013. 112 p.
11. Khrulev V.M., Dudnik V.T. Bonding of larch wood // Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny: VNIPIEllesprom. M., 1980. Vyp. 4. P. 1-24.
12. Khrulev V.M., Zaburunov V.A. Properties and applications alkylresorcinol adhesives with fillers // Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny: VNIPIEllesprom. M., 1979. Vyp. 4. P. 1-28.
13. Na B., Pizzi A., Lu Kh. Green wood gluing by traditional honeymoon PRF adhesives // Holz als Roh und Werkstoff, 2005. № 63. P. 473-474.
14. Gupalo O.P., Vatamanyuk N.M. Visokolekulyarni spolkiv. Kiiiv: NMK VO, 1993. 244 p.
15. Pizzi A., Mittal K.L. Handbook of Adhesives Technology. New York: Marcel Dekker, 2003. 1010 p.
16. Kulikov V.A. Proizvodstvo fanery. M.: Lesnaya promyshlennost', 1976. 368 p.
17. Khrulev V.M., Zaburunov V.A. Properties and applications alkylresorcinol adhesives with fillers // Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny: VNIPIEllesprom. M., 1979. Vyp. 4. P. 1-28.
18. Krylatov Yu.A., Koverninskii I.N. Sizing of paper. M.: Lesnaya promyshlennost', 1987. 288 p.
19. Krechetova S.P. Materials for handling and processing paper and cardboard. M.: Lesnaya promyshlennost', 1990. 160 p.
20. Engel'gardt G., Granich K., Ritter K. Sizing of paper. M.: Lesnaya promyshlennost', 1975. 224 p.
21. Siling M.I. Polycondensation physico-chemical principles and mathematical modeling. M.: Khimiya, 1988. 256 p.
22. Freidin A.S. Aqueous Polymer adhesives. M.: Khimiya, 1985. 144 p.
23. Vetoshkin Yu.I. Study of the interaction of the adhesive with the wood by the method of IR-spectroscopy // Tekhnologiya drevesnykh plit i plastikov: mezhvuz. sb. Sverdlovsk, 1982. Vyp. 9. P. 130-136.
24. Ortins'ka G.C. Formuvannya adhezivnykh kontaktiv pid hodzhenniam slovaniv veneer pcvideo Wolgast // Materialy III Mizhnarodnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodikh vchenikh z khimiï ta khimichnoi tekhnologii, 21-23 kvitnya 2010 r.: zb. tez. dop. Kiev: Nats. tekhn. un-et Ukraïni "Kiïvskii politekhnichnii institut", 2010. P. 162.
25. Berlin A.A., Basin V.E. Fundamentals of adhesion of polymers. M.: Khimiya, 1974. 358 p.
26. Bernard M. Collett. A review of surface and interfacial adhesion in wood science and related fields // Wood Science and Technology. 1972. Vol. 6. P. 1-42.

УДК 630.824.88; 630.811.9; 674.02; 630.378.45

DOI: 10.18324/2077-5415-2017-1-113-117

Обоснование некоторых параметров модификации затопленной древесины сосны

И.Н. Челышева^a, К.В. Гилева^b, А.Ю. Жук^cБратский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
^airinachelysheva@yandex.ru, ^bshu-ksy@mail.ru, ^czhuk30@yandex.ru

Статья поступила 30.11.2016, принята 28.12.2016

В статье рассмотрены вопросы модификации древесины сосны, длительное время находившейся в ложе Братского водохранилища в затопленном и плавающем состоянии. Результаты поисковых экспериментов по выбору модификатора убедительно показали преимущество натриевого жидкого стекла, способного заполнять пустоты внутри волокон древесины на клеточном уровне, образуя пространственные структуры и тем самым улучшая нарушенные физико-механические свойства древесины. Представлены результаты исследования условий образования адгезионного контакта в системе «древесина – модификатор (адгезив)» при модификации затопленной древесины сосны жидким натриевым стеклом при постоянных факторах экспериментов: порода древесины – сосна; исходная влажность образцов – $5,8 \pm 0,2$ %; шероховатость поверхности – 200 ± 10 мкм; температура воздуха – 20 ± 2 °С; относительная влажность воздуха – 60 ± 5 %; модификатор – адгезив «жидкое стекло»; силикатный модуль модификатора – 3; плотность модификатора – $1,35$ г/см³. Рассчитанная теоретическая работа адгезии указывает на приоритет снижения температуры поверхности древесины и модификатора до 30 °С. Получена математическая модель влияния температуры поверхности древесины и температуры модификатора на краевой угол смачивания. Установлена оптимальная величина относительной влажности поверхности затопленной древесины сосны

— $9,5 \pm 1,5$ %. Доказано, что температура поверхности древесины в интервале от 30 до 35 °C обеспечивает благоприятные условия смачивания модификатором. Установлено, что при температуре модификатора $32,5 \pm 2,5$ °C процесс образования адгезионного контакта наиболее вероятен.

Ключевые слова: аварийная древесина; топляковая древесина; модификация древесины; жидкое натриевое стекло; модификатор; адгезионный контакт.

Validation of some modification parameters of flooded pine wood

I.N. Chelysheva^a, K.V. Gileva^b, A.Yu. Zhuk^c

Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia
^airinachelysheva@yandex.ru, ^bshu-ksy@mail.ru, ^czhuk30@yandex.ru
 Received 30.11.2016, accepted 28.12.2016

The article deals with modification of the pine wood which spent a long time in the bed of Bratsk Reservoir in flooded and floating state. The results of the modifier selection experiments clearly demonstrated the advantage of a liquid sodium glass. It is capable of filling the voids within wood fiber at a cellular level forming a spatial structure thereby improving impaired physical and mechanical properties of wood. The article represents the results of the formation conditions studies of adhesive contact system "timber - modifier (adhesive)" while modifying the pine wood flooded with liquid sodium glass under the constant experimental factors: wood species - pine; initial moisture of content samples — $5,8 \pm 0,2\%$; surface roughness — 200 ± 10 microns; temperature — 20 ± 2 °C; relative humidity — $60 \pm 5\%$; modifier - adhesive liquid glass; silicate modifier module — 3; modifier density — 1.35 g/cm^3 . The theoretically calculated adhesion work points out the priority of reducing the temperature of pine wood surface and the temperature of the modifier to 30 °C. The mathematical model of the influence of wood surface temperature and modifier temperature on the contact angle is developed. The value of relative humidity of the surface of the flooded pine wood makes $9,5 \pm 1,5\%$. It is proved that the wood surface temperature within the range of 30 °C to 35 °C provides favorable conditions for modifier wetting. It is found that at the modifier temperature of 32.5 ± 2.5 °C, the formation of an adhesive contact is more likely.

Keywords: emergency wood; sunken wood; wood modification; liquid sodium glass; modifier; adhesive contact.

Введение

Вторая половина прошлого века характеризуется как время покорения сибирских рек с целью создания крупных объектов гидроэнергетики. Вместе с тем создание водохранилищ привело к изменению ландшафтной картины территорий, микроклимата, вызвало кардинальные изменения гидрологических условий водных путей, а также масштабные потери ценных лесных ресурсов. Актуальной остается проблема сохранения лесных ресурсов при строительстве новых гидроэлектростанций, чему служит ярким примером Богучанская ГЭС, четвертая в ангарском каскаде, где только по официальной информации затоплено около 9 млн м³ древесины [1]. Между тем потребность человечества в лесных ресурсах возрастает, и все острее встают вопросы сохранения лесов, комплексного и рационального использования всей биомассы заготовленной древесины [1–5].

В настоящее время разработаны и прошли апробацию различные технические и технологические решения по сбору и транспортировке древесного сырья, находящегося в ложах водохранилищ [1; 6–11]. В этой связи приобретают особую актуальность вопросы дальнейшего использования древесины, физико-механические свойства которой снижены в сравнении со свежесрубленной, как это отмечено в работах [12–15].

Известно, что топляковая, аварийная плавающая и затопленная на корню древесина является ценным исходным сырьем для изготовления декоративных фасадов мебели, погонажных изделий, технологической щепы для производства целлюлозы, однако ее использование ограничивается в связи с некоторым снижением

прочностных показателей, изменениями цвета и структуры, обусловленными экстракцией водорастворимых компонентов древесины.

Между тем науке известны способы целенаправленного изменения физико-механических показателей древесины. Модификация — это способ, позволяющий комплексно улучшить свойства древесины, повышая ее прочность, стабильность размеров и формы, химическую стойкость, биостойкость, огнестойкость с одновременным повышением стойкости к воздействию капиллярной влаги и воды. Модифицированную древесину целесообразно применять в строительных конструкциях (панелях покрытия и стеновых панелях) и в сооружениях, контактирующих с агрессивными средами. Для модификации традиционно используют древесину березы, однако могут быть задействованы любые другие породы деревьев [16; 17].

Технологический процесс производства модифицированной древесины состоит из следующих основных операций: сушка; механическая обработка; приготовление модификатора; наполнение модификатором; размещение модификатора в древесине с возможностью полимеризации; окончательная механическая обработка.

Процесс приготовления модификатора определяется видом применяемого для пропитки состава. Предварительная высокотемпературная (выше 150 °C) тепловая обработка способствует изменению химической структуры стенок клеток древесины с сохранением их химического состава. Количество гидрофильных групп в гемицеллюлозах уменьшается, что обуславливает снижение гигроскопичности и рост биологической стойкости древесины. Предварительная низкотемпературная

обработка способствует повышению эластичности волокон древесины, уменьшению объемных напряжений и улучшению контактных взаимодействий между волокнами.

Модификация при пропитке (глубокой или поверхностной) веществами, не вступающими в химические связи с компонентами древесины, снижает ее гигроскопичность. При этом модификатор размещается между микрофибриллами в стенках древесных клеток. Сегодня наряду с ранее известными требованиями к эффективности защитных композиций, простоты и доступности способов их нанесения выдвигаются требования к экологичности защитных веществ [18–19].

Предварительно проведенные экспериментальные исследования доказали возможность использования затопленной древесины лиственницы для получения модифицированной продукции [20].

Результаты поисковых экспериментов по выбору модификатора убедительно показали преимущество натриевого жидкого стекла [21]. Жидкое стекло — это кремнийорганическое соединение, водный раствор силиката натрия, который получают путем обжига смеси кварцевого песка и соды.

Цель и задачи исследования — изучение условий образования адгезионного контакта в системе «древесина – модификатор» при модификации затопленной древесины сосны жидким натриевым стеклом; исследование смачивающей способности затопленной древесины и поверхностного натяжения модификатора; расчет теоретической работы адгезии; выработка рекомендаций.

Постоянными факторами экспериментов были приняты:

- порода древесины — сосна;
- исходная влажность образцов — $5,8 \pm 0,2$ %;
- шероховатость поверхности — 200 ± 10 мкм;
- температура воздуха — 20 ± 2 °С;
- относительная влажность воздуха — 60 ± 5 %;
- модификатор — адгезив «жидкое стекло»;
- силикатный модуль модификатора — 3;
- плотность модификатора — $1,35$ г/см³.

Смачивающую способность поверхности затопленной древесины определяли через краевой угол смачивания (θ , град.) [22–24].

В серии однофакторных экспериментов были определены зависимости краевого угла смачивания от влажности, а также температуры поверхности древесины и модификатора.

На основании статистического анализа экспериментальных данных получено математическое описание исследуемого процесса, построены графические зависимости, представленные на рис. 1.

Регрессионный анализ произведен с применением методов вариационной статистики, оценка значимости коэффициентов определялась с помощью критерия Стьюдента. Адекватность математической модели оценивалась по критерию Фишера [23].

При исследовании абсолютно сухого образца было обнаружено наличие ярко выраженных гидрофобных свойств поверхности затопленной древесины — измеренный краевой угол $\theta = 49$ град., однако модификатор плохо растекался по поверхности.

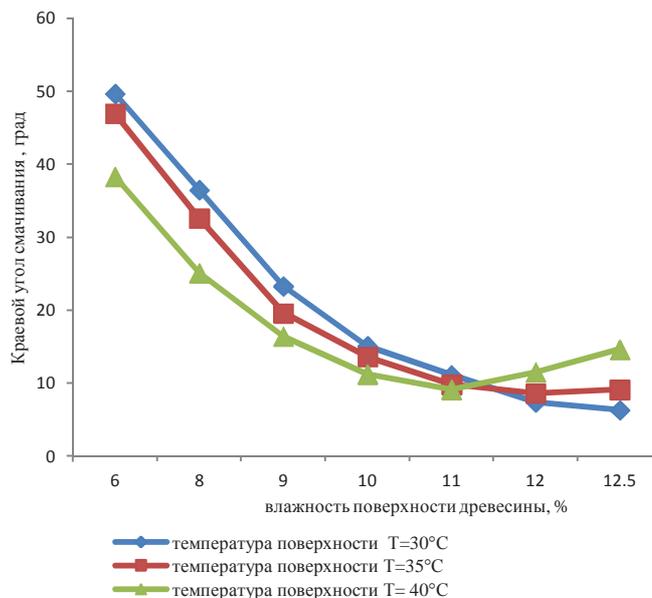


Рис. 1. Зависимость краевого угла смачивания от влажности и температуры поверхности древесины

Влияние влажности поверхности древесины (x , %) на величину краевого угла смачивания описывается следующими уравнениями.

При температуре поверхности древесины 30 °С:

$$y = 22,11x^2 - 61,9x + 49,7; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,99.$$

При температуре поверхности древесины 35 °С:

$$y = 27,77x^2 - 66,42x + 47; \quad (2)$$

$$R^2 = 0,96.$$

При температуре поверхности древесины 40 °С:

$$y = 25,2x^2 - 54,72x + 38,3; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,96.$$

Анализ представленной графической зависимости указывает на тенденцию к снижению краевого угла смачивания до некоторого минимального значения с ростом влажности поверхности древесины.

Достаточно резкое снижение значения краевого угла смачивания наглядно свидетельствует об улучшении условий смачивания и растекания модификатора до некоторого минимального значения. В дальнейшем наблюдается рост краевого угла смачивания, что свидетельствует об ухудшении условий смачивания и растекания модификатора по поверхности затопленной древесины при увеличении влажности ее поверхности.

В ходе эксперимента было выявлено, что нагревание жидкого стекла до высоких температур (33 °С и выше) невозможно, поскольку в модификаторе происходит необратимый процесс стеклования. Именно процесс стеклования жидкого натриевого стекла ухудшает условия и ведет к росту краевого угла смачивания.

Таким образом, установлено, что наиболее благоприятные условия для смачивания поверхности затопленной древесины модификатором могут быть обеспе-

чены при влажности поверхности $9,5 \pm 1,5$ % и температуре поверхности древесины $32,5 \pm 2,5$ °С.

Исследование поверхностного натяжения модификатора — жидкого стекла. Поверхностное натяжение — это сила, действующая по касательной к поверхности жидкости и стремящаяся сократить ее поверхность до минимальных размеров — сферы (капли). Для измерения поверхностного натяжения использовались торсионные весы типа ВТ. Отсчет производился по шкале прибора в делениях с последующим переводом в абсолютные значения поверхностного натяжения, $мДж/м^2$.

Графическая зависимость, представленная на рис. 2, свидетельствует о незначительном уменьшении поверхностного натяжения модификатора при нагревании его в интервале температур от 30 до 40 °С.

Математическое описание исследуемого процесса:

$$y = 0,05x^2 - 3,85x + 169,8; \quad (4)$$

$$R^2 = 1.$$

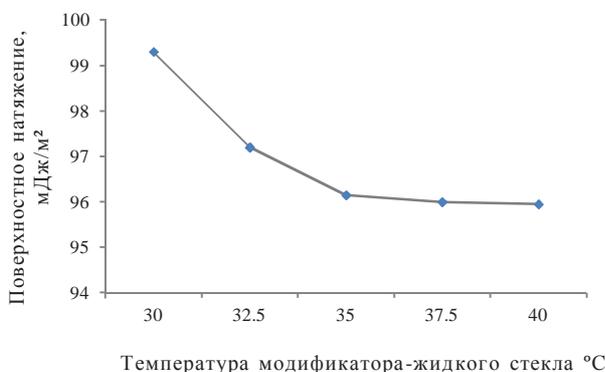


Рис. 2. Влияние температуры модификатора на его поверхностное натяжение

Определение адгезионной прочности в системе «древесина – модификатор (адгезив)» при модификации затопленной древесины сосны представляет собой достаточно сложную задачу с точки зрения стандартизации экспериментальных образцов и условий измерений [23–24].

Расчет теоретической работы адгезии. Результаты расчетов представлены в таблице.

Для характеристики адгезии в исследуемой системе целесообразно использовать теоретическую работу адгезии (W_a), $мДж/м^2$, определяемую по уравнению Юнга–Дюпре:

$$W_a = \sigma_m (1 + \cos \theta), \quad (4)$$

где σ_{cp} — поверхностное натяжение жидкого модификатора (адгезива), $мДж/м^2$; θ — равновесный краевой угол смачивания, град.

Анализ полученных результатов наглядно показывает, что наблюдается тенденция к росту теоретической работы адгезии при увеличении влажности поверхности затопленной древесины сосны и снижении температуры модификатора и поверхности в исследуемых пределах.

Теоретическая работа адгезии, $мДж/м^2$

Влажность поверхности затопленной древесины, %	Температура поверхности древесины и модификатора	
	30 °С	35 °С
8,0	179,73	175,08
9,0	190,66	186,63
10,0	194,63	189,51
11,0	196,61	190,48
12,0	197,61	190,95
12,5	198,1	191,15

Таким образом, более значимое влияние на установление адгезионного контакта оказывают температура поверхности (не более 30 °С) и влажность поверхности древесины (от 8 до 12 %).

Выводы и рекомендации

При исследовании условий образования адгезионного контакта в системе «древесина – модификатор» обоснованы некоторые технологические параметры режима модификации затопленной древесины сосны.

Рассчитанная теоретическая работа адгезии указывает на приоритет снижения температуры поверхности древесины и модификатора до 30 °С. Влажность поверхности древесины следует установить от 8 до 12 %.

Получена математическая модель влияния температуры поверхности древесины и модификатора на краевой угол смачивания.

1. Установлена величина относительной влажности поверхности затопленной древесины сосны ($9,5 \pm 1,5$ %).

2. Доказано, что температура поверхности древесины в интервале от 30 до 35 °С обеспечивает благоприятные условия для смачивания модификатором.

3. Установлено, что при температуре модификатора $32,5 \pm 2,5$ °С процесс образования адгезионного контакта наиболее вероятен.

Литература

1. Жук А.Ю. Повышение эффективности сбора и транспортировки древесины в прибрежных акваториях и береговой зоне водохранилищ: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2016. 35 с.
2. Pearce F. The logger of the lake // New Scientist 11 August 2001 P. 38.
3. Klingbeil C. Lost treasures // Tracks & treads. Spring. 2011. P. 17-19.
4. Harvesting an underwater forest [Электронный ресурс] // International Forest Industries Magazine. Electronic data. URL. <http://www.internationalforestindustries.com> (дата обращения: 11.12.2016).
5. Perham R.E. Elements of floating-ebriis control systems. Final report. Department of the Army. US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. Washington, 1988. 52 p.
6. Жук А.Ю. Технология комплексного освоения древесины в акватории и береговой зоне озер и водохранилищ // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С 323-326.
7. Горяев А.С. Жук А.Ю. Обоснование способов освоения аварийной древесины в береговой зоне водохранилищ // Вестн. КрасГАУ. 2009. № 11 (38). С. 175-181.

8. Угрюмов Б.И., Новоселов А.В., Жук А.Ю. Лесопользование в прибрежных акваториях водохранилищ: моногр. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 160 с.
9. Жук А.Ю., Горяев А.С. Теоретические исследования работы устройства для сбора и транспортировки древесины с берегов // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 5 (44). С. 99-105.
10. Жук А.Ю., Яковлев В.В. Расчет максимального веса транспортируемой пачки лесоматериалов при работе устройств для сбора и транспортировки древесины с учетом климатических факторов // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 7 (58). С. 162-166.
11. Жук А.Ю. Организационно-правовые аспекты реализации технологических процессов освоения древесины в прибрежных акваториях и береговой зоне водохранилищ [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/121-19122> (дата обращения: 15.10.2016).
12. Soine H. Holzwerkstoffe – Herstellung und Verarbeitung, - Stuttgart: DRW Verlag, 1995.
13. Занегин Л.А., Воскобойников И.В., Кондратюк В.А., Щелоков В.М. Биомасса древесины и биоэнергетика: моногр. М.: МГУЛ, 2008. Т. 1 428 с.
14. Шамаев В.А. Модификация древесины. М.: Экология, 1991. 128 с.
15. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. СПб.: Профессия, 2007. 240 с.
16. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. СПб.: Химия, 1975. 246 с.
17. Веснина Е.Н. Модифицирование древесных частиц в процессе приготовления стружечно-клеевой композиции: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГЛТА, 2003. 257 с.
18. Pizzi A. Advanced Wood Adhesives Technology. Basel: Marsel Dekker Jnc., 1994. 289 p.
19. Жук А.Ю. Использование «бесхозной» древесины, находящейся в прибрежных акваториях и береговой зоне водохранилищ // Актуальные проблемы лесного комплекса // Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч-технической конф. Брянск, 2014. Вып. 38. С. 219-223.
20. Карнаухов Ю.П., Шарова В.В. Способ получения жидкого стекла: пат. 2056353 Рос. Федерация. № заявки 9393012625; заявл. 03.09.93; опубл. 28.04.96, Бюл. № 8.
21. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1978. 371 с.
22. Пижурин А.А. Оптимизация технологических процессов деревообработки: моногр. М.: Лесная промышленность, 1975. 312 с.
23. Utgof S.S., Ignatovich L.V. Mathematical modeling application to determine effect of technological factors on physical and mechanical properties of densified low deciduous wood // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2014. № 5-6. P. 59-63.
4. Угрюмов Б.И., Новоселов А.В., Жук А.Ю. Лесопользование в прибрежных акваториях водохранилищ: моногр. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 160 с.
5. Perham R.E. Elements of floating-bris control systems. Final report. Department of the Army. US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. Washington, 1988. 52 p.
6. Zhuk A.Yu. Technology of integrated development of wood in the waters and the shore zone of lakes and water storages // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki. 2014. T. 1. P. 323-326.
7. Goryaev A.S., Zhuk A.Yu. Substantiation of ways of development of emergency timber in the coastal zone of reservoirs // The Bulletin of KrasGAU. 2009. № 11 (38). P. 175-181.
8. Ugrumov B.I., Novoselov A.V., Zhuk A.Yu. Forest management in the coastal waters of reservoirs: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 160 p.
9. Zhuk A.Yu., Goryaev A.S. Theoretical studies of the device for harvesting and transportation of wood from the banks // The Bulletin of KrasGAU. 2010. № 5 (44). P. 99-105.
10. Zhuk A.Yu., Yakovlev V.V. The calculation of the maximum weight of the transported timber packs when using devices for wood harvesting and transportation, taking into account climatic factors // The Bulletin of KrasGAU. 2011. № 7 (58). P. 162-166.
11. Zhuk A.Yu. Organizational and legal aspects of the implementation of the processes of development of the wood in the coastal waters of reservoirs and coastal zone [Elektronnyi resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/121-19122> (data obrashcheniya: 15.10.2016).
12. Soine H. Holzwerkstoffe - Herstellung und Verarbeitung, - Stuttgart: DRW Verlag, 1995.
13. Zanegin L.A., Voskoboinikov I.V., Kondratyuk V.A., Shchelokov V.M. Wood biomass and bioenergy: monogr. M.: MGUL, 2008. T. 1. 428 p.
14. Shamaev V.A. Modification timber. M.: Ekologiya, 1991. 128 p.
15. Lange K.R. Surfactants: synthesis, properties, analysis, application. SPb.: Professiya, 2007. 240 p.
16. Abramzon A.A. Surfactants. SPb.: Khimiya, 1975. 246 p.
17. Vesnina E.N. Modification of wood particles in the preparation of particleboard-adhesive composition: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb.: SPbGLTA, 2003. 257 p.
18. Pizzi A. Advanced Wood Adhesives Technology. Basel: Marsel Dekker Jnc., 1994. 289 p.
19. Zhuk A.Yu. The Use of "orphan" wood, located in the coastal waters and the coastal zone of the reservoir // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa // Sb. nauch. tr. po itogam mezhdu-nar. nauch-tekhnikeskoi konf. Bryansk, 2014. Vyp. 38. P. 219-223.
20. Karnaukhov Yu.P., Sharova V.V. A process for producing liquid glass: pat. 2056353 Ros. Federatsiya. № zayavki 9393012625; zayavl. 03.09.93; opubl. 28.04.96, Byul. № 8.
21. Rebinder P.A. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika. M.: Nauka, 1978. 371 p.
22. Pizhurin A.A. Optimization of technological processes of woodworking: monogr. M.: Lesnaya promyshlennost', 1975. 312 p.
23. Utgof S.S., Ignatovich L.V. Mathematical modeling application to determine effect of technological factors on physical and mechanical properties of densified low deciduous wood // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2014. № 5-6. P. 59-63.

References

1. Zhuk A.Yu. Improving the efficiency of harvesting and transportation of timber in the coastal areas and coastal zone reservoirs: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. Arkhangel'sk, 2016. 35 p.
2. Pearce F. The logger of the lake // New Scientist 11 August 2001 P. 38.
3. Klingbeil C. Lost treasures // Tracks & treads. Spring. 2011. P.17-19.
4. Harvesting an underwater forest [Elektronnyi resurs] // International Forest Industries Magazine. Electronic data. URL: <http://www.internationalforestindustries.com> (data obrashcheniya: 11.12.2016).