

Д.С. Русаков, А.М. Иванов, М.А. Чубинский, Г.С. Варанкина

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ И СПОСОБНОСТИ СМАЧИВАТЬСЯ ДРЕВЕСИНЫ РАЗНЫХ ПОРОД

*Введение.* В соответствии с молекулярно-адсорбционной теорией адгезии с увеличением площади контакта древесной подложки и связующего вещества прочность адгезионного взаимодействия повышается при условии смачивания твёрдого тела жидкостью. Известно, что древесина удовлетворительно смачивается карбамидо- и фенолоформальдегидными клеями [Чубинский, 2003, 2017; Коваленко, 2016].

Смачивание играет важную роль в технологических процессах склеивания и защитно-декоративной обработки древесины жидкими связующими, пропиточными составами и лакокрасочными материалами. Исследованы различные формы явления смачивания [Сумм, 1999], тем не менее некоторые принципиальные вопросы ещё не решены. Количественной мерой смачивания служит краевой угол  $\theta_0$  между касательной АВ к искривлённой поверхности жидкости и смоченной площадью АА (рис. 1). Угол смачивания определяют с помощью микроскопа, оснащенного угломером, через 3–5 с после нанесения капли (контактный угол) и через 20 мин (равновесный угол).

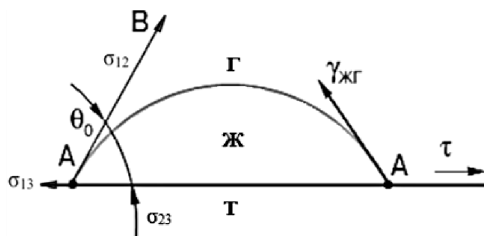


Рис. 1. Краевой угол смачивания  $\theta$  жидкостью (ж) древесины ( $\tau$ ) в воздушной среде ( $\Gamma$ )

Fig. 1. The contact angle of the wetting  $\theta$  of the liquid (ж) of the wood ( $\tau$ ) in the air ( $\Gamma$ )

При выводе уравнения Юнга поверхность твердого тела принята идеально гладкой, что не характерно для реальных тел, имеющих сложный микрорельеф с выступами и впадинами различной формы и размера, зависящих от анатомического строения древесины, её влажности и способа обработки [Коваленко, 2016].

Подход к анализу влияния явления смачивания на адгезионное взаимодействие клея и древесины и качество формирования клееной продукции должен быть иным при использовании тонких слоёв древесины, например шпона, толщина которых сопоставима с размерами полостей структурных элементов древесины. В этом случае необходимо обеспечить не только высокий уровень взаимодействия, но и не допустить просачивания клея на лицевую поверхность склеиваемого материала.

Известно, что неровности на поверхности древесины влияют на краевой угол смачивания по двум причинам. Одна из них – термодинамическая. Неровности увеличивают реальную поверхность по сравнению с идеально гладкой. Вторая – кинетическая. Неровная поверхность древесины имеет канавки с сечением различной формы и глубины, зависящей от размера полости трахеид, сосудов, волокон либриформа.

Жидкость растекается по твердой поверхности в направлении  $X$ . Влияние канавки зависит от её ориентации по отношению к направлению растекания. Вдоль канавки жидкость может растекаться беспрепятственно, при перпендикулярной ориентации к поверхности выступ может остановить процесс растекания. В этой связи, важным является угол излома (угол  $\alpha$  на рис. 2).

Для определения реальной площади контакта капли жидкости на поверхности можно использовать представление о фрактальном строении древесины [Коваленко, 2016].

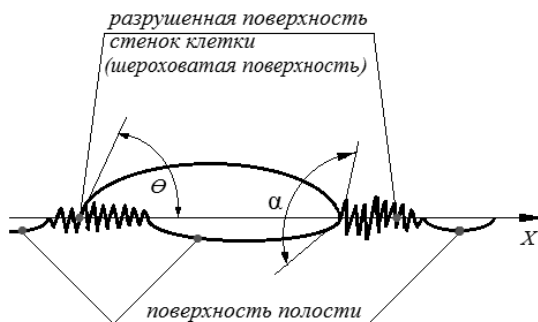


Рис. 2. Контур растекающейся капли  
Fig. 2. The contour of a spreading drop

*Методика исследования.* Исследование включало два этапа. На первом исследовали угол смачивания тестовых жидкостей и критическое поверхностное натяжение  $\sigma_{кр}$  лущеного и строганого шпона из древесины осины, лиственницы, ольхи, дуба и бука толщиной 0,2–0,3 мм с использованием тестовых жидкостей (табл. 1).

Таблица 1

**Методическая сетка проведения экспериментальных исследований**

**Methodical grid for conducting experimental studies**

| Исследуемый параметр                                       | Постоянные факторы               |   | Переменные факторы                           |                                    | Интервал варьирования | Общее количество наблюдений |
|--|----------------------------------|---|--|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|  | наименование                     | значение                                    | наименование                                 | значение                           |                       |                             |
| Угол смачивания, $\theta$ , град.                          | Порода древесины                 | Осина<br>Лиственница<br>Ольха<br>Дуб<br>Бук | Шероховатость поверхности шпона, $R_a$ , мкм | 60                                 | 60                    | 96                          |
|  | Толщина шпона, мм                | 0,2–0,3                                     |  | 120                                |                       |                             |
|  | Клей                             | КФ-МТ-15                                    |  | 180                                |                       |                             |
|  | Концентрация клея, %             | 66  | Влажность шпона, $W$ , %                     | 2                                  | 5                     |                             |
|  | Температура окружающей среды, °С | 20±2  |  | 7                                  |                       |                             |
|  |                                  |   | 12   | Условная вязкость клея, $\eta$ , с | 35                    | 45                          |
|  |                                  |   | 80   |                                    |                       |                             |
| 125  |                                  |   |  |                                    |                       |                             |
| Поверхностное натяжение клея, $\sigma_{ж\text{ез}}$ , мН/м | Порода древесины                 | Осина<br>Лиственница<br>Ольха<br>Дуб<br>Бук | Шероховатость поверхности шпона, $R_a$ , мкм | 60                                 | 60                    | 168                         |
|  | Толщина шпона, мм                | 0,2–0,3                                     |  | 120                                |                       |                             |
|  | Клей                             | КФ-МТ-15                                    |  | 180                                |                       |                             |
|  | Концентрация клея, %             | 66  | Влажность шпона, $W$ , %                     | 2                                  | 5                     |                             |
|  | Температура окружающей среды, °С | 20±2  |  | 7                                  |                       |                             |
|  |                                  |   | 12   | Условная вязкость клея, $\eta$ , с | 35                    | 45                          |
|  |                                  |   | 80   |                                    |                       |                             |
| 125  |                                  |   |  |                                    |                       |                             |

В качестве тестовых жидкостей применяли:

- концентрированный раствор хлористого кальция с поверхностным натяжением свыше 72,8 мН/м, что соответствует поверхностному натяжению карбамидоформальдегидной смолы, обеспечивающей требуемую прочность склеивания [Варанкина и др., 2015; Чубинский, 2017];
- водный раствор уксусной кислоты с поверхностным натяжением ниже 72,8 мН/м.

*Результаты исследований и их анализ.* Из результатов, представленных на рис. 3, для шпона бука, ольхи и осины  $\sigma_{кр}$  находится в пределах 50–97 мН/м, для дуба и лиственницы 70–98 мН/м.

Графики, представленные на рис. 3, табл. 2, показывают, что у более плотных пород древесины (дуб, лиственница) критическое поверхностное натяжение выше, чем у менее плотных (осины и ольхи), более плотные породы древесины смачиваются лучше по сравнению с менее плотными. Исключением является древесина бука, т. е. критическое поверхностное натяжение зависит не только от плотности древесины, но и её анатомического строения и химического состава.

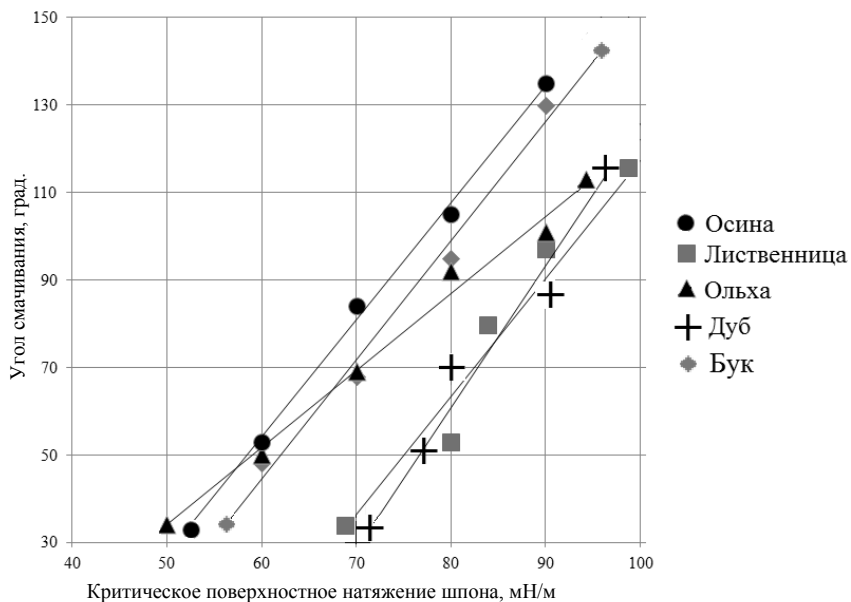


Рис. 3. Критическое поверхностное натяжение и способность древесины разных пород смачиваться тестовыми жидкостями

Fig. 3. Critical surface tension and the ability of wood of different breeds to be wetted with test liquids

Таблица 2

**Критическое поверхностное натяжение древесины разных пород****Critical surface tension of different types of wood**

| Порода древесины | Среднее критическое поверхностное натяжение, мН/м | Плотность древесины при влажности 12%, кг/м <sup>3</sup> | Базисная плотность древесины, кг/м <sup>3</sup> |
|------------------|---|--|---|
| Лиственница      | 84,4  | 665  | 540   |
| Дуб              | 83,2  | 690  | 570   |
| Ольха            | 71,2  | 525  | 430   |
| Бук              | 70,4  | 680  | 560   |
| Осина            | 70,4  | 495  | 400   |

Полученные результаты для лиственницы и бука не согласуются с данными о влиянии способности древесины смачиваться на прочность клеевых соединений [Русаков и др., 2011; Русаков, 2016; Варанкина, Чубинский, 2014; Варанкина, 2015]. Это требует проведения дальнейших исследований о влиянии поверхностного натяжения древесины и её способности смачиваться на прочность склеивания.

Для обоснования технологии облицовывания фанеры с применением *порошкообразных КФ-клеев* проведён многофакторный эксперимент по облицовыванию фанеры шпоном с использованием порошкообразных клеев на основе карбамидоформальдегидной смолы КФ-МТ-15.

Зависимость смачивающей способности и поверхностного натяжения клея от шероховатости поверхности, влажности шпона и условной вязкости клея (рис. 4, 5) описывается уравнениями регрессии:

$$\theta = 108,35 + 0,033 R_a + 29,7 W - 3,05 \eta; \quad (1)$$

$$\sigma_{жсз} = 58,02 + 0,023 R_a - 11,6 W + 1,14 \eta; \quad (2)$$

$$\text{при } 60 \text{ мкм} \leq R_a \leq 180 \text{ мкм}; \quad 2 \% \leq W \leq 12 \%; \quad 35 \text{ с} \leq \eta \leq 125 \text{ с},$$

где  $\theta$  – угол смачивания, град.;  $\sigma_{жсз}$  – поверхностное натяжение клея, мН/м;  $R_a$  – шероховатость поверхности шпона, мкм;  $W$  – влажность шпона, %;  $\eta$  – условная вязкость клея, с.

Полученные уравнения регрессии, связывающие смачивающую способность и поверхностное натяжение клея с влияющими факторами, позволяют определить рациональные параметры режима облицовывания фанеры порошкообразными клеями на основе смолы КФ-МТ-15.

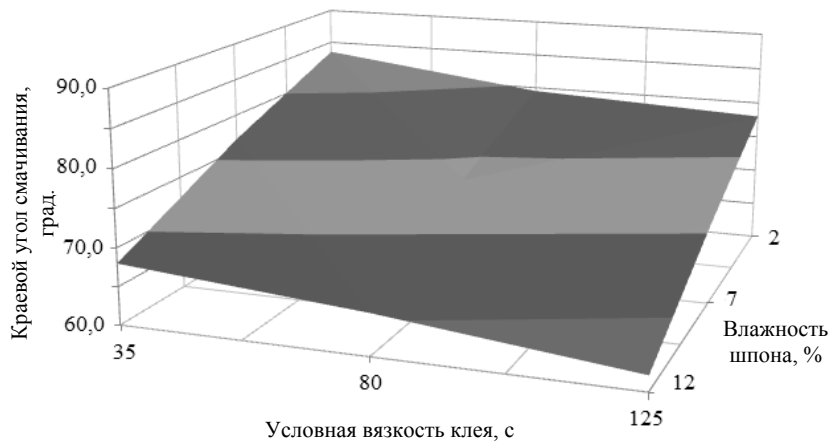


Рис. 4. Зависимость краевого угла смачивания от условной вязкости клея и влажности шпона (лиственница)

Fig. 4. Dependence of the contact angle of wetting on the conditional viscosity of the glue and the moisture of the veneer (larch)

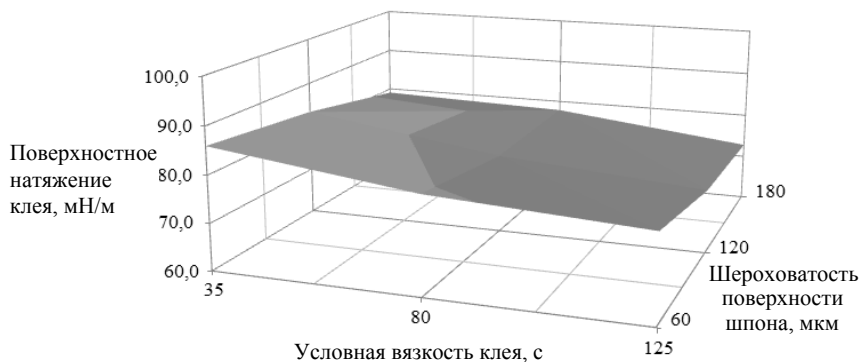


Рис. 5. Зависимость поверхностного натяжения клея от условной вязкости клея и шероховатости поверхности шпона толщиной 0,27 мм (лиственница)

Fig. 5. Dependence of the surface tension of the adhesive on the conventional viscosity of the glue and the roughness of the veneer surface with a thickness of 0.27 mm (larch)

Проведенный трехфакторный эксперимент по исследованию процесса облицовывания фанеры шпоном с использованием порошкообразных клеев на основе карбамидоформальдегидных смол, закладывает предпосылки

для дальнейшей разработки уточненных условий и режимов склеивания клеями оптимальных составов.

*Выводы.* Критическое поверхностное натяжение у более плотных пород древесины (дуб, лиственница) выше по сравнению с менее плотными (осины и ольхи). Шпон, изготовленный из древесины осины, бука и ольхи, хуже смачивается, чем дубовый и лиственничный.

Критическое поверхностное натяжение и способность древесины смачиваться зависят от её плотности, анатомического строения и химического состава, а также влажности и шероховатости поверхности шпона, вязкости клея.

### **Библиографический список**

*Варанкина Г.С., Чубинский А.Н.* Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов : монография. СПб.: Химиздат, 2014. 148 с.

*Варанкина Г.С., Чубинский А.Н., Русаков Д.С.* Исследование адгезионных свойств модифицированных клеевых композиций // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. Кострома: Изд-во КГТУ, 2015. С. 100–102.

*Коваленко И.В., Чубинский М.А., Русаков Д.С., Варанкина Г.С.* Поверхностные свойства и строение древесины осины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 217. С. 182–193.

*Русаков Д.С., Варанкина Г.С.* Влияние технологических факторов производства фанеры на качество готовой продукции // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. Вып. 197. С. 154–159.

*Русаков Д.С.* Модификация фенолоформальдегидной смолы продуктами сульфитно-целлюлозного производства // Системы. Методы. Технологии. 201. № 1 (29). С. 113–119.

*Сумм Б.Д.* Гистерезис смачивания // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 7. С. 98–102.

*Чубинский А.Н., Ермолаев Б.В., Сосна Л.М.* Свойства поверхности древесины во взаимодействии с жидким адгезивом // Деревообрабатывающая промышленность. 2003. № 1. С. 25–26.

*Чубинский А.Н., Коваленко И.В., Русаков Д.С., Варанкина Г.С.* Обоснование режимов склеивания осинового шпона // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 218. С. 187–198.

### **References**

*Varankina G.S., Chubinskiy A.N.* Formirovanie nizkotoksichnyh kleenyh drevesnyh materialov : monografiya [Formation of low-toxic glued wood materials: monograph]. St. Petersburg: Khimizdat, 2014. (In Russ.)

*Varankina G.S., Chubinskiy A.N., Rusakov D.S.* Issledovanie adgezionnykh svoystv modifitsirovannykh kleevykh kompozitsiy [Investigation of adhesion properties of modified adhesive compositions]. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa*. Kostroma: Izd-vo KGTU, 2015, pp. 100–102. (In Russ.)

*Kovalenko I.V., Chubinskiy M.A., Rusakov D.S., Varankina G.S.* Poverhnostnyye svoystva i stroenie drevesiny osiny [Surface properties and structure of aspen wood]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2016, is. 217, pp. 182–193. (In Russ.)

*Rusakov D.S., Varankina G.S.* Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov proizvodstva fanery na kachestvo gotovoy produktsii [Influence of technological factors of production of plywood on the quality of finished products]. *Izvestiya Sankt – Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2011, is. 197, pp. 154–159. (In Russ.)

*Rusakov D.S.* Modifikatsiya fenoloformal'degidnoy smoly produktami sul'fitno-cellyuloznogo proizvodstva [Modification of phenol-formaldehyde resin by products of sulfite-cellulose production]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2016, no. 1 (29), pp. 113–119. (In Russ.)

*Summ B.D.* Gisterezis smachivaniya [Hysteresis of wetting]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1999, no. 7, pp. 98–102. (In Russ.)

*Chubinskiy A.N.* i dr. Svoystva poverhnosti drevesiny vo vzaimodeystvii s zhidkim adgezivom [The properties of the wood surface in interaction with the liquid adhesive]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 2003, no. 1, pp. 25–26. (In Russ.)

*Chubinskiy A.N., Kovalenko I.V., Rusakov D.S., Varankina G.S.* Obosnovaniye rezhimov skleivaniya osinovogo shpona [Substantiation of the modes of gluing of aspen veneer]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2017, is. 218, pp. 187–198. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 11.09.2017 г.*

---

**Русаков Д.С., Иванов А.М., Чубинский М.А., Варанкина Г.С.** Исследование критического поверхностного натяжения и способности смачиваться древесины разных пород // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. С. 271–281. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.271-281*

Смачивание играет важную роль в технологических процессах склеивания и защитно-декоративной обработки древесины жидкими связующими, пропиточными составами и лакокрасочными материалами. Исследованы различные формы явления смачивания, тем не менее некоторые принципиальные вопросы ещё не решены. Подход к анализу влияния явления смачивания на адгезионное взаимодействие клея и древесины и качество формирования клееной продукции должен быть иным при использовании тонких слоёв древесины, например шпона, толщина которых сопоставима с размерами полостей структурных элементов



древесины. В этом случае необходимо обеспечить не только высокий уровень взаимодействия, но и не допустить просачивание клея на лицевую поверхность склеиваемого материала. Для обоснования технологии облицовывания фанеры с применением *порошкообразных карбамидоформальдегидных клеев* проведён многофакторный эксперимент по облицовыванию фанеры шпоном с использованием порошкообразных клеев на основе карбамидоформальдегидной смолы КФ-МТ-15. Полученные уравнения регрессии, связывающие смачивающую способность и поверхностное натяжение клея с влияющими факторами, позволяют определить рациональные параметры режима облицовывания фанеры порошкообразными клеями. Проведенный трехфакторный эксперимент по исследованию процесса облицовывания фанеры шпоном с использованием порошкообразных клеев на основе карбамидоформальдегидных смол закладывает предпосылки для дальнейшей разработки уточненных условий и режимов склеивания клеями оптимальных составов. По результатам работы можно сделать следующие выводы, что критическое поверхностное натяжение у более плотных пород древесины (дуб, лиственница) выше по сравнению с менее плотными (осины и ольхи). Шпон, изготовленный из древесины осины, бука и ольхи, хуже смачивается, чем дубовый и лиственничный. Критическое поверхностное натяжение и способность древесины смачиваться зависят от её плотности, анатомического строения и химического состава, а также влажности и шероховатости поверхности шпона, вязкости клея.

Ключевые слова: шпон, поверхностные свойства древесины, смачивающая способность, влажность шпона, шероховатость шпона, вязкость клея.

**Rusakov D.S., Ivanov A.M., Chubinsky M.A., Varankina G.S.** Investigation of the critical surface tension and the ability to wet wood of different species. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2017, is. 221, pp. 271–281 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.271-281

Wetting plays an important role in the technological processes of bonding and protective-decorative processing of wood by liquid binders, impregnating compounds and paintwork materials. Various forms of the wetting phenomenon have been investigated, however some basic questions have not yet been solved. The approach to the analysis of the influence of the wetting phenomenon on adhesive adhesion of glue and wood and the quality of the formation of glued products should be different when using thin layers of wood, for example veneer, the thickness of which is comparable to the dimensions of cavities of structural elements of wood. In this case, it is necessary to ensure not only a high level of interaction, but also to prevent the glue from penetrating the front surface of the material to be glued. To substantiate the technology of veneering with the use of powdered urea-formaldehyde adhesives, a multifactor experiment on veneering veneer with the use of powdered adhesives based on urea-formaldehyde resin KF-MT-15 was carried out. The resulting regression equations linking the wetting

power and the surface tension of the adhesive with the influencing factors make it possible to determine the rational parameters of the plywood veneering regime with powdered glues. The three-factor experiment on the veneering of veneer with veneer using powdered glues based on urea-formaldehyde resins, provides the prerequisites for the further development of refined conditions and gluing conditions for the optimum compositions. According to the results of the work, the following conclusions can be drawn, that the critical surface tension in denser wood species (oak, larch) is higher in comparison with less dense (aspen and alder). Veneer, made from aspen, beech and alder wood, is less wetted than oak and larch. The critical surface tension and ability of the wood to wet depend on its density, anatomical structure and chemical composition, as well as the moisture and roughness of the veneer surface, the viscosity of the glue.

**Keywords:** veneer, surface properties of wood, wetting power, veneer moisture, veneer roughness, glue viscosity.

---

**РУСАКОВ Дмитрий Сергеевич** – доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dima-ru25@mail.ru

**RUSAKOV Dmitry S.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Materials Technology, designs and constructions of wood, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: dima-ru25@mail.ru

**ИВАНОВ Александр Михайлович** – аспирант кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ivanovsashaxl@gmail.com

**IVANOV Alexander M.** – PhD student of the Department of Materials Technology, Structures and Structures of Wood of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ivanovsashaxl@gmail.com

**ЧУБИНСКИЙ Максим Анатольевич** – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук. SPIN-код: 2594-8945.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mchubinsky@gmail.com

**CHUBINSKY Maxim A.** – PhD (Biology), associate professor St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 2594-8945.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: mchubinsky@gmail.com

**ВАРАНКИНА Галина Степановна** – профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: varagalina@yandex.ru

**VARANKINA Galina S.** – DSc (Technical), professor of the Department of Materials Technology, designs and constructions of wood, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: varagalina@yandex.ru