

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/10>

УДК 674.613



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ЛУЩЕНОГО ШПОНА: ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА ОТТАИВАНИЕ И ПРОГРЕВ ДРЕВЕСИНЫ

Егор М. Разиньков¹, rasinkov50@mail.ru 0000-0002-4057-4645

Татьяна Л. Ищенко¹ , tl_ischenko@mail.ru 0000-0002-2118-2160

Сергей П. Трофимов², tsp46@gmail.ru 0000-0001-5094-7524

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

²Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

Для получения качественного лущеного шпона прогрев древесины является обязательной технологической операцией. В зимний период необходимо сначала проводить оттаивание, а затем прогрев древесины до определенной температуры на поверхности карандаша. Операция оттаивания и прогрева производится в водных бассейнах открытого или закрытого типов. Одним из основных факторов этой технологической операции является их продолжительность. Имеющиеся расчетные формулы, для работников фанерных предприятий являются довольно сложными, поскольку целый ряд значений выбирается из большого количества литературных источников, и в дальнейшем, рассчитывается целый ряд параметров, определяющих продолжительность оттаивания и прогрева древесины. В последние годы предприятия, с целью интенсификации процесса прогрева древесины, переходят с открытых на закрытые бассейны. Представленные в работе результаты продолжительности гидротермальной обработки древесины в водном закрытом бассейне, позволят специалистам определить искомыми временными параметрами без дополнительных расчетов. Полученные результаты, показали, что определяющими факторами для продолжительности гидротермальной обработки древесины при производстве фанеры являются не только температура воздуха и температура воды в бассейне, но и плотность древесины. Так для более плотных пород древесины (береза, лиственница), используемых при производстве фанеры, требуется больше времени для оттаивания и прогрева. Причем, основной прогрев древесины происходит при температуре воды в бассейне 60 °С, когда происходит оттаивание древесины. После этого продолжительность прогрева древесины до температуры 20 °С на поверхности карандаша существенно снижается, особенно при температуре воды в бассейне 80 °С.

Ключевые слова: лущеный шпон, карандаш, оттаивание древесины, прогрев древесины, продолжительность, водный бассейн, технологические параметры

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Для цитирования: Разиньков, Е. М. Технологический процесс получения лущеного шпона: влияние внешних температурных условий на оттаивание и прогрев древесины / Е. М. Разиньков, Т. Л. Ищенко, С. П. Трофимов // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 4 (48). – С. 141–152. – Библиогр.: с. 150–152 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/10>.


Поступила 03.06.2022. Пересмотрена 16.12.2022. Принята 17.12.2022. Опубликовано онлайн 26.12.2022.

Article

TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBTAINING PEELED VENEER: THE INFLUENCE OF EXTERNAL TEMPERATURE CONDITIONS ON THE DEFROSTING AND WARMING UP OF WOOD

Egor M. Razinkov¹, rasinkov50@mail.ru  0000-0002-4057-4645

Tatiana L. Ishchenko¹ , tl_ishchenko@mail.ru  0000-0002-2118-2160

Sergey P. Trofimov², tspx46@gmail.ru  0000-0001-5094-7524

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

²Belarussian State Technological University, 13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Belarus

Abstract

To obtain high-quality peeled veneer, heating of wood is a mandatory technological operation. In winter, it is necessary to first thaw, and then warm up the wood to a certain temperature on the surface of the pencil. The operation of thawing and warming up is performed in open or closed water pools. One of the main factors of this technological operation is their duration. The available calculation formulas for employees of plywood enterprises are quite complex, since a number of values are selected from a large number of literary sources, and in the future, a number of parameters are calculated that determine the duration of thawing and heating of wood. In recent years, enterprises, in order to intensify the process of heating wood, are switching from open to closed pools. The results of the continuation of the TRP of wood in a closed water basin presented in the work will allow specialists to determine the desired time parameters without additional calculations. The results obtained showed that the determining factors for the duration of the TRP of wood in the production of plywood are not only the temperature of the air and the temperature of the water in the pool, but also the density of wood. Thus, for denser types of wood (birch, larch) used in the production of plywood, more time is required for thawing and heating. Moreover, the main heating of wood occurs at a pool water temperature of 60 ° C, when thawing of wood occurs. After that, the duration of heating the wood to a temperature of 20 ° C on the surface of the pencil is significantly reduced, especially at a pool water temperature of 80 ° C.

Keywords: *peeled veneer, core (of veneer), wood thawing, wood heating, duration, water pool, technological parameters*

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this paper.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Razinkov E.M., Ishchenko T.L., Trofimov S.P. (2022) Technological process of obtaining peeled veneer: the influence of external temperature conditions on the defrosting and warming up of wood. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 12, No. 4 (48), pp. 141-152 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/10>.

Received 03.06.2022. **Revised** 16.12.2022. **Accepted** 17.12.2022. **Published online** 26.12.2022.

Введение

При получении лущеного шпона используются в основном такие породы древесины как береза, осина, сосна, ольха, тополь, ель, лиственница, хотя по действующему стандарту на лущеный шпон (ГОСТ 99-2016) могут применяться и другие породы такие как ясень, дуб, липа, клен, пихта,

кедр [17,18,19]. В настоящее время диаметр сырья составляет около 25-30 см, а его влажность при поставке автомобильным или железнодорожным транспортом находится на уровне 60-70%. Технологическим регламентом на получение в зимний период, когда древесина замерзшая, требуется ее оттаивание и прогрев, а в летний период только

прогрев. В зимний период продолжительность оттаивания древесины (до 0°C в центре карандаша) занимает намного большую продолжительность, чем прогрев. Для получения качественного шпона продолжительность выдержки древесины в воде осуществляется до достижения определенной температуры на поверхности карандаша (в среднем 20°C) [14,15,16,20]. Температура воды в открытых бассейнах для оттаивания составляет 40 – 50°C, в закрытых – 60-80°C. Закрытые бассейны более эффективны, поскольку в них древесина прогревается намного быстрее за счет более высокой температуры воды. После оттаивания в таких бассейнах древесина прогревается до требуемой температуры на поверхности карандаша быстро, особенно при температуре воды 80°C. Одной из ключевых проблем прогрева в закрытых бассейнах является отсутствие комплексных аналитических расчетов продолжительности оттаивания и прогрева древесины результаты которых могли бы использоваться работниками предприятий.

Цель работы состояла в исследовании закономерностей продолжительности оттаивания и прогрева древесины, наиболее применяемых для получения лущеного шпона в бассейнах закрытого типа с экспериментальной проверкой параметра продолжительности на карандашах из древесины березы.

Материалы и методы

Предмет и объект исследований

Объектами для исследования служили наиболее распространенные породы древесины, используемые в технологии производства фанеры, такие как береза, ель, осина, сосна, ольха, и лиственница. Плотности этих пород древесины таковы, что их значения охватывают большой интервал варьирования (на примере базовой плотности от 365 до 540 кг/м³). Такой подход к выбору пород древесины позволит в дальнейшем, по результатам опытов на этих породах, с достаточной степенью точности определять продолжительность гидро-термической обработки (ГТО) для других пород древесины входящих в этот интервал варьирования.

Предметом исследования служили аналитические зависимости целого ряда значений для мно-

жества факторов, входящих в процесс ГТО древесины в водных бассейнах.

Сбор данных и дизайн эксперимента

В настоящее время известны методики расчетов продолжительности оттаивания и прогрева древесины [1-5], а также других авторов [6-10], каждый из которых дополнял методику таких расчетов с учетом породы, начальной температуры.

В общем виде продолжительность выдержки древесины в зимний период в водных бассейнах описывается расширенной зависимостью, с:

$$T = T_0 + T_{\text{п}} = \left(\frac{D^2}{16} - \frac{d^2}{16} - \frac{d^2}{8} \ln \frac{D}{d} \right) \cdot \frac{\rho c t_0 + \rho_6 \frac{W-W^{\approx}}{100} \gamma}{\tau_{\text{ном}} K_p K_x} + \frac{0,096 D^2}{\lambda} \rho c \lg \left[\frac{t}{t-t^{\approx}} \left(1 - \frac{d}{D} \right) \right], (1)$$

При этом

$$q = \rho c t_0 + \rho_6 \frac{W-W^{\approx}}{100} \gamma, (2)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ном}} K_p K_x, (3)$$

$$T_{\text{п}} = \frac{0,096 D^2}{\lambda} \rho c \lg \left[\frac{t}{t-t^{\approx}} \left(1 - \frac{d}{D} \right) \right], (4)$$

Тогда

$$T = T_0 + T_{\text{п}} = \left(\frac{D^2}{16} - \frac{d^2}{16} - \frac{d^2}{8} \ln \frac{D}{d} \right) \frac{q}{\lambda t} + \frac{0,096 D^2}{\lambda} \rho_w c \lg \left[\frac{t}{t-t^{\approx}} \left(1 - \frac{d}{D} \right) \right], (5)$$

В формуле (5) величина $\rho_w c = 1/\lambda$,

где: a – коэффициент температуропроводности древесины, м²/с, т.е. $a = \lambda/\rho_w c$ [5].

В этих формулах приняты следующие обозначения: T – продолжительность выдержки сырья в бассейне в зимний период, ч; T_0 – продолжительность прогрева сырья в бассейне в зимний период, ч; $T_{\text{п}}$ – продолжительность прогрева сырья в бассейне, ч; D – диаметр сырья, м; d – диаметр неоттаявшей зоны бревна (чурака) до 0°C, м ($d=0$); d^k – диаметр карандаша, м; q – удельный расход теплоты на оттаивание, Дж/м³; λ – коэффициент теплопроводности оттаявшей зоны, определяющий количество теплоты, проходящей в единицу времени через стенки из древесины площадью 1 м² и толщиной 1 м при разности температур на противоположных сторонах в 1°C, Вт/м°C; ρ_w – плотность древесины при различной ее влажности, кг/м³; t – температура воды в бассейне, °C; t_x – температура воздуха, °C; c – удельная теплоемкость древесины, кДж/кг°C (или Дж/кг°C 10³); a – коэффициент температуропроводности древесины, м²/с; t^{\approx} – температура на поверхности карандаша, °C; c – удельная

теплоемкость определяющая количество теплоты для нагрева 1 кг древесины на 1°C, кДж/кг·°C; W - начальная влажность древесины, % (70); W^{\approx} - содержание незамерзшей связанной влаги в древесине, % (23 [1]); $\lambda_{\text{ном}}$ - номинальное значение коэффициента теплопроводности оттаявшей зоны сырья, Вт/м·°C.

Продолжительность оттаивания древесины определяется по формуле,с:

$$T_0 = \left(\frac{D^2}{16} - \frac{d^2}{16} - \frac{d^2}{8} \ln \frac{D}{d} \right) \frac{q}{\lambda t}, \quad (6)$$

В этих расчетах примем $D = 26$ см; $d = 0$ °C; $t = 40, 50$ и 60 °C.

Величина удельного расхода теплоты на оттаивание древесины определяется по формуле, Дж/м³:

$$q = \rho_w c t + \frac{\rho_6 \gamma (W - W_{\text{с.ж.}})}{100}, \quad (7)$$

где: ρ_w - плотность древесины при данной влажности (70%), кг/м³; ρ_6 - базисная плотность древесины, кг/м³; γ - скрытая теплота плавления льда, кДж/кг (335) [1]; W - начальная влажность древесины, % (70); $W_{\text{с.ж.}}$ - содержание незамерзшей связанной влаги в древесине при данной температуре, %.

Величины ρ_w для различных пород древесины рассчитаем по формулам [1], кг/м³:

$$\rho_w = \frac{\rho_0(100+W)}{K_a} \cdot 30 + 100, \quad (8)$$

где: ρ_0 - плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, кг/м³; W - начальная влажность древесины, % (70); K_a - коэффициент разбухания древесины ($K_a = 0,6$ для березы и лиственницы и $K_a = 0,5$ для всех остальных пород).

Анализ данных

Результаты натурного эксперимента по определению влияния каждого из уровней внешней температуры (-10, -15, -20 °C) на длительность T , ч ГТО карандашей березы диаметром 25-30 см ($n = 8$) обрабатывали с помощью GraphPadPrizm, ver. 8.4.3. Для этого производили проверку нулевой гипотезы о равенстве средних, используя дисперсионный анализ, а также апостериорный HSD-тест Тьюки попарных сравнений средних значений длительности в температурных группах при уровне значимости 0,05. Визуализацию данных осуществляли с помощью боксплотов с вискерами (min-max) и

отображением уровня достоверности различий (**** <0.0001).

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведена плотность исследуемых пород древесины при различной ее влажности по данным [1,3], а также ряд других характеристик.

Для достоверности представленных в табл. 1 значений плотностей древесины (ρ_0) нами были проведены эксперименты по статистической обработке такой плотности с визуализацией результатов по методу статистических характеристик случайных величин с построением гистограммы (кривой нормального распределения Гаусса), которая является эмпирическим аналогом функции распределения плотности (рис.1). Для примера показана статистическая обработка для древесины ели. В экспериментах плотность образцов варьировалась от 456 до 504 кг/м³. Интервал варьирования составлял 2,4 кг/м³ и был получен как разница между максимальной и минимальной плотностями древесины с разбивкой оси абсцисс на 20 интервалов. На представленном рис. 1 по оси абсцисс отложены эти интервалы значений плотностей образцов, а по оси ординат - частоты из 60 образцов.

Полученная зависимость частот от плотности древесины показывает, что экстремум функции находится на уровне плотности 480 кг/м³, что и представлено в табл. 1 в качестве величины (ρ_0)

Удельная теплоемкости древесины (c) принимается в зависимости от расчетной температуры воды в бассейне и влажности древесины. При температуре воды в бассейне (60, 75 и 80°C) и влажности древесины (70%) удельная теплоемкость древесины составит соответственно 2,27; 2,22 и 1,95 кДж/кг·°C [1,11,12].

Определим по формуле (7) удельный расход теплоты на оттаивание q для различных пород древесины при различной температуре воды в бассейне и температуры воздуха представлены в табл. 1. Так, например, для березы при -10°C величина $q = 893 \cdot 2,27 \cdot 10 + 520 \cdot 335(70-23)/100 = 102145$ кДж/м³, при -20°C эта величина определится как $q = 893 \cdot 1,95 \cdot 20 + 520 \cdot 335(70-23)/100 = 116701$ кДж/м³.

Для определения продолжительности прогрева древесины необходимо вычислить коэффициент теплопроводности λ для расчетной температу-

ры оттаявшей зоны (t_p). При различных значениях температуры воды в бассейне (60, 70 и 80°C) величину λ можно принять равной 0,4104 Вт/м·°C с учетом поправки на фактическую условную плотность древесины и направление теплового потока [5,13].

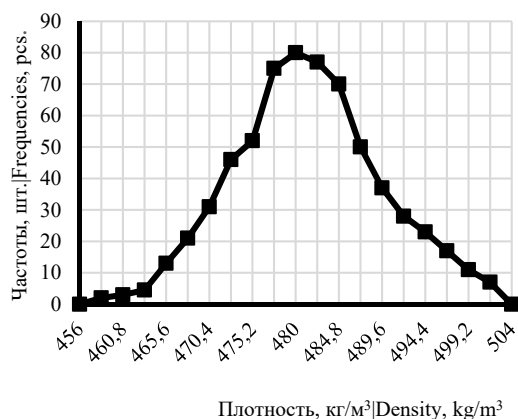


Рис. 1. Кривая нормального распределения плотности древесины ели
Figure 1. Spruce wood density bell curve

Источник: собственные результаты авторов
Source: author's results

Зная коэффициент теплопроводности λ и критерий глубины прогрева Φ ($\Phi = \frac{D^2}{16} = 0,0042 \text{ м}^2$) по формуле (6) можно определить продолжительность оттаивания древесины в бассейне.

В качестве примера, для оттаивания березы при температуре воздуха -10°C и температуре воды в бассейне 40°C требуется продолжительность:

$$T_0 = 0,0042 \cdot 102145 \cdot 10^3 / 0,4104 \cdot 40 = 26136 \text{ с} = 7,26 \text{ ч}$$

В формуле (5) величина $\rho_w c = 1/\lambda$, где: a – коэффициент температуропроводности древесины, $\text{м}^2/\text{с}$, т.е. $a = \frac{\lambda}{\rho_w c}$ [5]. В табл. 1 приведены полученные значения величины (a) в зависимости от породы древесины и температуры воды в бассейне. В качестве примера, при использовании древесины березы при температуре воды в бассейне 60°C величина:

$$a = 0,4104 / 2,27 \cdot 10^3 \cdot 893 = 2,02 \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Таблица 1

Характеристики различных пород древесины

Table 1

Characteristics of different types of wood

Порода Древесины Breed wood	Плотность древесины, кг/м³ Wood density, kg/m³			Удельный расход тепла на оттаивание древесины, g, (кДж/м³) при Температуре воздуха в °C Specific heat consumption for wood thawing, g, (kJ/m³) at air temperature in °C			Плотность древесины, ρ_w , кг/м³ Density of wood, ρ_w , kg/m³	Коэффициент температуро- проводности ($a \cdot 10^{-7}$) в м²/с при удельной теплоемкости (с) в кДж/кг·°C Thermal diffusivity ($a \cdot 10^{-7}$) in m²/s at specific heat capacity (s) in kJ/kg·°C		
	ρ_b	ρ_o	ρ_w	-10	-15	-20				
Ель Spruce	365	480	710	73586	81112	85109	710	2,55	2,60	2,96
Осина Aspen	400	465	687	78575	85857	89773	687	2,63	2,69	3,06
Сосна Pine	415	480	710	81459	88985	93032	710	2,55	2,60	2,96
Ольха Alder	430	495	732	84320	92080	96252	732	2,50	2,53	2,88
Береза Birch	520	620	893	102145	111611	116701	893	2,02	2,07	2,36
Лиственница Larch	540	635	915	105794	115493	120708	915	1,98	2,02	2,30

Источник: собственные результаты авторов
Source: author's results

Подставляя величину (a) во второе слагаемое формулы 1 получим продолжительность прогрева древесины, c :

$$T_{\text{п}} = \frac{0,096D^2}{\lambda} \lg \left[\frac{t}{t-t_{\approx}} \left(1 - \frac{d}{D} \right) \right], (9)$$

Пользуясь этой формулой, для примера, определим продолжительность прогрева древесины

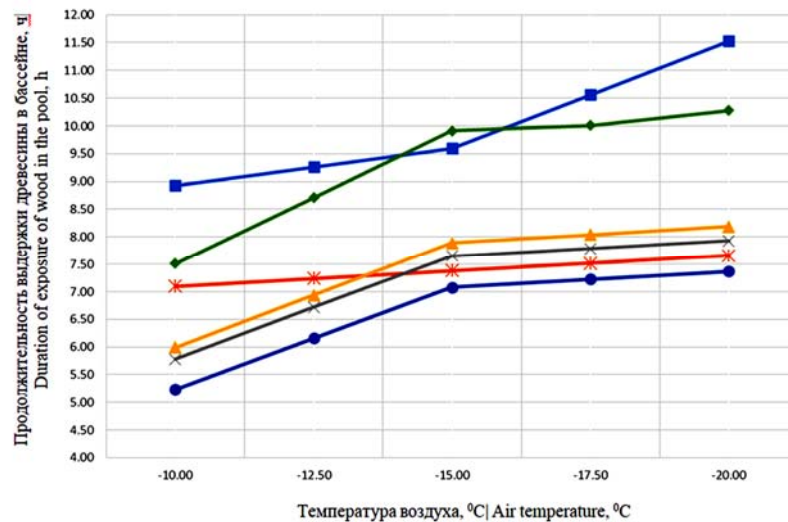


Рис. 2. Зависимость продолжительности выдержки древесины в бассейне (T) от температуры воздуха (t_x) при температуре воды в бассейне 60°C при цвете линий: синий (с квадратами) – береза; оранжевый – осина; серый – сосна; желтый – ольха; синий (с точками) – ель; зеленый – лиственница.

Figure 2. The dependence of the duration of exposure of wood in the pool (T) on the air temperature (t_x) at a water temperature in the pool of 60°C with the color of the lines: blue (with squares); orange - aspen; gray - pine; yellow - alder; blue (with dots) - spruce; green - larch.

Источник: собственные результаты авторов
Source: author's results

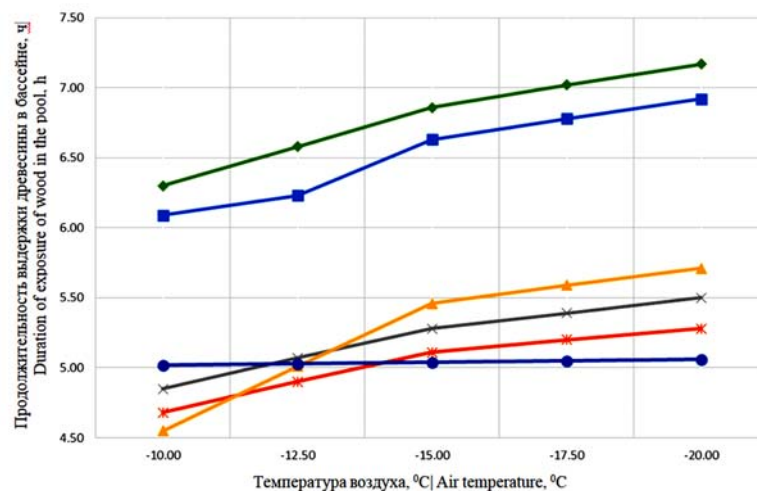


Рис. 3. Зависимость продолжительности выдержки древесины в бассейне (T) от температуры воздуха (t_x) при температуре воды в бассейне 75°C при цвете линий: синий (с квадратами) – береза; оранжевый – осина; серый – сосна; желтый – ольха; синий (с точками) – ель; зеленый – лиственница

Figure 3. Dependence of the duration of exposure of wood in the pool (T) on the air temperature (t_x) at a water temperature in the pool of 75°C with the color of the lines: blue (with squares) - birch; orange - aspen; gray - pine; yellow - alder; blue (with dots) - spruce; green - larch

Источник: собственные результаты авторов
Source: author's results

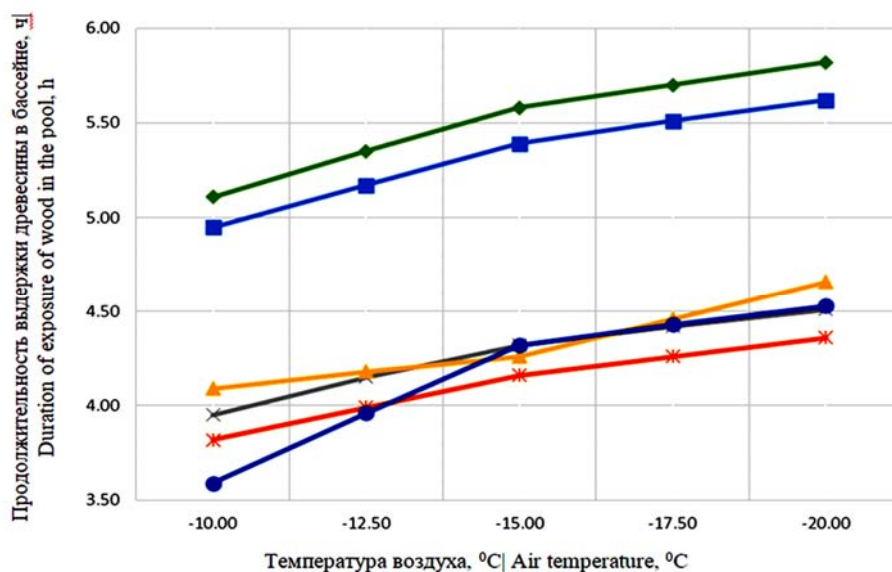


Рис. 4. Зависимость продолжительности выдержки древесины в бассейне (Т) от температуры воздуха (t_x) при температуре воды в бассейне 80 °С при цвете линий: синий (с квадратами) – береза; оранжевый – осина; серый – сосна; желтый – ольха; синий (с точками) – ель; зеленый – лиственница

Figure 4. Dependence of the duration of wood exposure in the pool (T) on the air temperature (t_x) at a water temperature in the pool of 80 °C with the color of the lines: blue (with squares) - birch; orange - aspen; gray - pine; yellow - alder; blue (with dots) - spruce; green – larch

Источник: собственные результаты авторов

Source: author's results

диаметром 26 см до температуры 20°C на поверхности карандаша диаметром 6 см в бассейне с температурой 60, 70 и 80°C (рис. 2-7).

Так, например, для древесины березы при температуре воды в бассейне 60°C величина

$$T_{\text{п}} = \frac{0,096 \times}{2,02} 0,26^2 \cdot 10^7 \cdot \lg\left[\frac{60}{60 - 20} \left(1 - \frac{6}{26}\right)\right] = 1,67 \text{ ч}$$

Сумма значений T₀ и T_п позволит определить продолжительность выдержки (Т) в бассейне.

Результаты показывают, что снижение температуры воздуха и температуры воды в бассейне увеличивают продолжительность выдержки древесины в бассейне. Графические зависимости рис. 2 – 4 показывают, что снижение температуры воздуха приводит к увеличению продолжительности выдержки. Наибольшая продолжительность выдержки необходима для таких пород древесины как лиственница и береза. Для этих пород древесины снижение температуры воздуха на 1°C приводит к увеличению продолжительности выдержки в бассейне с температурой 60°C соответственно на 0,24 и 0,26 ч.

При температуре воды в бассейне 70°C приводит уже к меньшему изменению продолжительности выдержки (на 0,085 и 0,083ч соответственно), а при температуре воды в бассейне 80°C приводит еще к меньшему изменению продолжительности выдержки (на 0,071 и 0,067ч соответственно). Следовательно, основной прогрев древесины происходит при температуре воды в бассейне 60°C, когда происходит оттаивание древесины. После этого продолжительность прогрева древесины до температуры 20°C на поверхности карандаша существенно снижается, особенно при температуре воды в бассейне 80 °C.

Анализ представленных на рис. 2-8 графических зависимостей показал, что чем выше плотность древесины, тем дольше продолжительность ее прогрева в бассейне. Так, наибольшую продолжительность прогрева требует береза или лиственница с плотностями 620-635 кг/м³, затем по убывающей – ольха, сосна или ель, а затем осина.

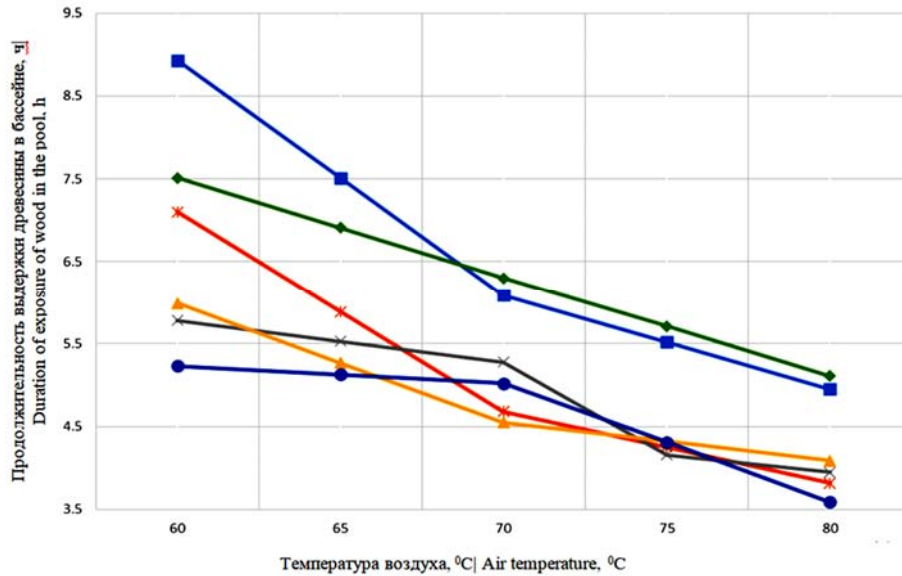


Рис. 5. Зависимость продолжительности выдержки древесины в бассейне (Т) от температуры воды в бассейне (t) при температуре воздуха -10°C при цвете линий: синий (с квадратами) – береза; оранжевый – осина; серый – сосна; желтый – ольха; синий (с точками) – ель; зеленый – лиственница

Figure 5. Dependence of the duration of wood exposure in the pool (T) on the water temperature in the pool (t) at an air temperature of -10°C with the color of the lines: blue (with squares) - birch; orange - aspen; gray - pine; yellow - alder; blue (with dots) - spruce; green – larch

Источник: собственные результаты авторов

Source: author's results

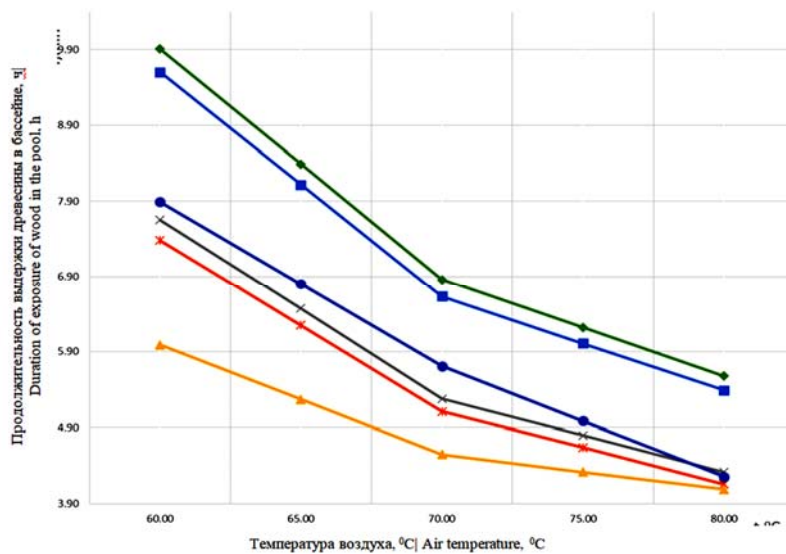


Рис. 6. Зависимость продолжительности выдержки древесины в бассейне (Т) от температуры воды в бассейне (t) при температуре воздуха -15°C при цвете линий: синий (с квадратами) – береза; оранжевый – осина; серый – сосна; желтый – ольха; синий (с точками) – ель; зеленый – лиственница

Figure 6. Dependence of the duration of wood exposure in the pool (T) on the water temperature in the pool (t) at an air temperature of -15°C with the color of the lines: blue (with squares) - birch; orange - aspen; gray - pine; yellow - alder; blue (with dots) - spruce; green – larch

Источник: собственные результаты авторов

Source: author's results

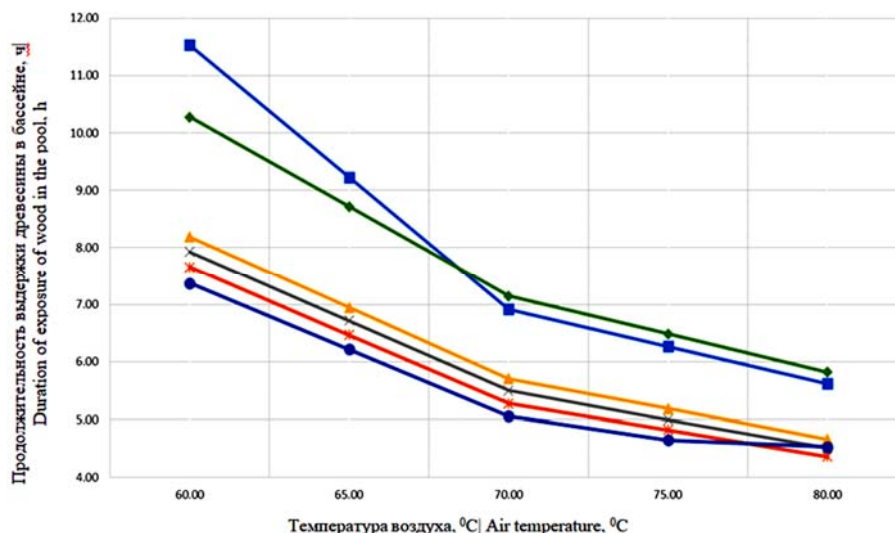
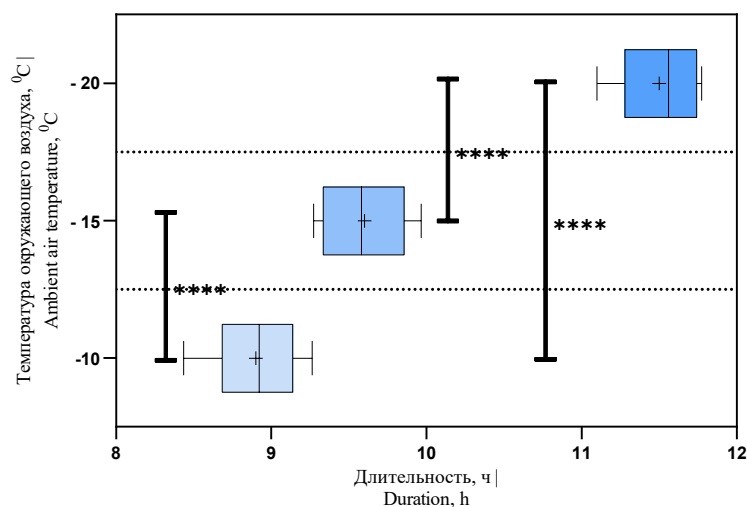


Рис. 7. Зависимость продолжительности выдержки древесины в бассейне (Т) от температуры воды в бассейне (t) при температуре воздуха -20°C при цвете линий: синий (с квадратами) – береза; оранжевый – осина; серый – сосна; желтый – ольха; синий (с точками) – ель; зеленый – лиственница
 Figure 7. Dependence of the duration of wood exposure in the pool (T) on the water temperature in the pool (t) at an air temperature of -20 °C with the color of the lines: blue (with squares) - birch; orange - aspen; gray - pine; yellow - alder; blue (with dots) - spruce; green – larch

Источник: собственные результаты авторов
 Source: author's results



ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	28.96	2	14.48	F (2, 21) = 203.9	P<0.0001
Residual (within columns)	1.491	21	0.07101		
Total	30.45	23			

Рис. 8. Экспериментальная продолжительность выдержки древесины березы в закрытом бассейне при температуре воды в бассейне 60 °C в зависимости от температуры воздуха. Знаком **** обозначен уровень значимости (p < 0.0001) различий между средними значениями длительности по критерию Тьюки
 Figure 8. The experimental duration of exposure of birch wood in an indoor pool at a pool water temperature of 60 °C, depending on the air temperature. The sign **** indicates the significance level (p < 0.0001) of the differences between the average duration values with Tukey's criteria

Источник: собственные результаты авторов
 Source: author's results

Выводы

1. Длительность оттаивания и прогрева древесины для получения лущеного шпона статистически значимо ($p < 0.0001$) зависит от внешних температурных условий. Так, для древесины березы длительность ГТО при фиксированной температуре в закрытом бассейне на уровне $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ составит $8,900 \pm 0,009$; $9,601 \pm 0,093$; $11,500 \pm 0,089$ ч для начальной температуры воздуха (-10 , -15 , $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) соответственно.

2. Использование теоретических зависимостей на этапе планирования технологического процесса ГТО древесины при производстве фанеры позволит работникам предприятий иметь готовые значения выдержки древесины разных пород в водном бассейне в зависимости от температуры воздуха (особенно в зимний период) и температуры воды в бассейне.

Список литературы

1. Erchiqui, F., Amorri, N. Heating time simulation for frozen Canadian wood species by 3D hybrid finite element enthalpy: aspen, white birch, yellow birch and sugar maple. *Eur. J. Wood Prod.* 80, 159–168 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01749-4>
2. Mederski, P.S., Schweier, J., Đuka, A. et al. Mechanised Harvesting of Broadleaved Tree Species in Europe. *CurrForestryRep* (2022). <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00154-7>
3. Araminienė, V., Dinca, L., Varnagirytė–Kabašinskiene, I. et al. Growth and chemical composition of silver birch: Comparative study between Lithuania and Romania. *J. For. Res* 32, 2111–2120 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01231-6>
4. Sokolova, E.G., Rusakov, D.S., Chubinsky, A.N. et al. A Study of the Properties of Melamine–Carbamide–Formaldehyde Resins Modified with Lignosulphonates. *Polym. Sci. Ser. D* 14, 508–512 (2021). <https://doi.org/10.1134/S1995421221040213>
5. Wang, J., Cao, X. & Liu, H. A review of the long-term effects of humidity on the mechanical properties of wood and wood-based products. *Eur. J. WoodProd.* 79, 245–259 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01623-9>
6. Etuk, S.E., Agbasi, O.E. & Robert, U.W. Investigation of heat transfer and mechanical properties of *Saccharum officinarum* leaf board. *Int J Energ Water Res* 6, 95–102 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42108-021-00123-7>
7. Ermilova A.I. Comparative studies of polymer materials for special pipes. 2017Plastics, No. 11-12, pp. 48-51
8. Amiraslanova M.N. Synthesis of nitrogen-containing phenol-formaldehyde oligomers grafted with vegetable oils. *Plastics*, 2017.No. 3-4, pp. 28-32
9. Lim DYS, Seo M-J, Yoo JC Optical temperature control unit and convolutional neural network for colorimetric detection of loop-mediated isothermal amplification on a lab-on-a-disc platform. *Sensors* 19(14):3207. (2019) <https://doi.org/10.3390/s19143207>
10. Wang, J., Cao, X. & Liu, H. A review of the long-term effects of humidity on the mechanical properties of wood and wood-based products. *Eur. J. WoodProd.* 79, 245–259 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01623-9>
11. Khattabi, A., Steinhagen, P. Analysis of transient nonlinear heat conduction in wood using finite-difference solutions. *HolzalsRoh-und Werkstoff* 51, 272–278 (1993). <https://doi.org/10.1007/BF02629373>
12. Annasabi Z, Erchiqui F. 3D hybrid finite elements for anisotropic heat conduction in a multimaterial with multiple orientations of the thermal conductivity tensors. *Int J Heat Mass Transf.* (2020) <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119795>
13. Erchiqui, F., Amorri, N. Heating time simulation for frozen Canadian wood species by 3D hybrid finite element enthalpy: aspen, white birch, yellow birch and sugar maple. *Eur. J. Wood Prod.* 80, 159–168 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01749-4>
14. Denaud L, Bléron L, Ratle A, Marchal R Online control of wood peeling process: acoustical and vibratory measurements of lathe checks frequency. *Ann For Sci* 64:569–575(2007). <https://doi.org/10.1051/forest:2007034>

15. Denaud LE, Bléron L, Eyma F, Marchal R Wood peeling process monitoring: a comparison of signal processing methods to estimate veneer average lathe check frequency. *Eur J Wood Prod* 70:253–261. (2012) <https://doi.org/10.1007/s00107-011-0549-8/>

16. Газизов А.М., Кузнецова О.В., Гарбовский Д.А. Пути улучшения подготовки сырья для получения шпона Системы. Методы. Технологии. 2018. №3(39). С. 88–91.

17. Johannes Reiner, Sergio Orellana Pizarro, Kenny Hadi, Darren Narain, Peng Zhang, Matt Jennings, MahbubeSubhani, Damage resistance and open-hole strength of thin veneer laminates: Adopting design and testing principles from fibre-reinforced polymers, *Engineering Failure Analysis*, Volume 143, Part A, 2023, 106880, ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106880>.

18. Anti Rohumaa, Heikko Kallakas, Marja Mäetalu, Natalja Savest, Jaan Kers, The effect of surface properties on bond strength of birch, black alder, grey alder and aspen veneers, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 110, 2021, 102945, ISSN 0143-7496, <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102945>.

19. Gilbert B. P. et al. Perpendicular to grain and shear mechanical properties of veneer-based elements glued from single veneer sheets recovered from three species of juvenile subtropical hardwood plantation logs // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2018. – Т. 76. – №. 6. – С. 1637–1652.

20. Wang, T. In-plane mechanical properties of birch plywood / T. Wang, Y. Wang, R. Crocetti, M. Wälinder // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 340. – P. 127852. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127852.

References

1. Erchiqui, F., Amorri, N. Heating time simulation for frozen Canadian wood species by 3D hybrid finite element enthalpy: aspen, white birch, yellow birch and sugar maple. *Eur. J. Wood Prod.* 80, 159–168 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01749-4>

2. Mederski, P.S., Schweier, J., Đuka, A. et al. Mechanised Harvesting of Broadleaved Tree Species in Europe. *Curr Forestry Rep* (2022). <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00154-7>

3. Araminienė, V., Dinca, L., Varnagirytė–Kabašinskiene, I. et al. Growth and chemical composition of silver birch: Comparative study between Lithuania and Romania. *J. For. Res.* 32, 2111–2120 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01231-6>

4. Sokolova, E.G., Rusakov, D.S., Chubinsky, A.N. et al. A Study of the Properties of Melamine–Carbamide–Formaldehyde Resins Modified with Lignosulphonates. *Polym. Sci. Ser. D* 14, 508–512 (2021). <https://doi.org/10.1134/S1995421221040213>

5. Wang, J., Cao, X. & Liu, H. A review of the long-term effects of humidity on the mechanical properties of wood and wood-based products. *Eur. J. WoodProd.* 79, 245–259 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01623-9>

6. Etuk, S.E., Agbasi, O.E. & Robert, U.W. Investigation of heat transfer and mechanical properties of *Saccharum officinarum* leaf board. *Int J Energ Water Res* 6, 95–102 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42108-021-00123-7>

7. Ermilova A.I. Comparative studies of polymer materials for special pipes. 2017. *Plastics*, No. 11–12, pp. 48–51

8. Amiraslanova M.N. Synthesis of nitrogen-containing phenol-formaldehyde oligomers grafted with vegetable oils. 2017. *Plastics*, No. 3–4, pp. 28–32

9. Lim DYS, Seo M-J, Yoo JC Optical temperature control unit and convolutional neural network for colorimetric detection of loop-mediated isothermal amplification on a lab-on-a-disk platform. *Sensors* 19(14):3207. (2019) <https://doi.org/10.3390/s19143207>

10. Wang, J., Cao, X. & Liu, H. A review of the long-term effects of humidity on the mechanical properties of wood and wood-based products. *Eur. J. Wood Prod.* 79, 245–259 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01623-9>

11. Khattabi, A., Steinhagen, P. Analysis of transient nonlinear heat conduction in wood using finite-difference solutions. *Holz als Roh- und Werkstoff* 51, 272–278 (1993). <https://doi.org/10.1007/BF02629373>

12. Annasabi Z, Erchiqui F. 3D hybrid finite elements for anisotropic heat conduction in a multmaterial with multiple orientations of the thermal conductivity tensors. *Int J Heat Mass Transf.* (2020) <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119795>

13. Erchiqui, F., Amorri, N. Heating time simulation for frozen Canadian wood species by 3D hybrid finite element enthalpy: aspen, white birch, yellow birch and sugar maple. *Eur. J. Wood Prod.* 80, 159–168 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01749-4>
14. Denaud L, Bléron L, Ratle A, Marchal R (2007) Online control of wood peeling process: acoustical and vibratory measurements of lathe checks frequency. *Ann ForSci* 64:569–575. <https://doi.org/10.1051/forest:2007034>
15. Denaud LE, Bléron L, Eyma F, Marchal R (2012) Wood peeling process monitoring: a comparison of signal processing methods to estimate veneer average lathe check frequency. *Eur J Wood Prod* 70:253–261. <https://doi.org/10.1007/s00107-011-0549-8/>
16. Gazizov A.M., Kuznetsova O.V., Garbovsky D.A. Ways to improve the preparation of raw materials for obtaining veneer Systems. *Methods. Technologies.* 2018. No. 3 (39). pp. 88-91.
17. Johannes Reiner, Sergio Orellana Pizarro, Kenny Hadi, Darren Narain, Peng Zhang, Matt Jennings, Mahbubeh Subhani, Damage resistance and open-hole strength of thin veneer laminates: Adopting design and testing principles from fibre-reinforced polymers, *Engineering Failure Analysis*, Volume 143, Part A, 2023, 106880, ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106880>.
18. Anti Rohumaa, Heikko Kallakas, Marja Mäetalu, Natalja Savest, Jaan Kers, The effect of surface properties on bond strength of birch, black alder, grey alder and aspen veneers // *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 110, 2021, 102945, ISSN 0143-7496, <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102945>.
19. Gilbert B. P. et al. Perpendicular to grain and shear mechanical properties of veneer-based elements glued from single veneer sheets recovered from three species of juvenile subtropical hardwood plantation logs // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2018. – Т. 76. – №. 6. – С. 1637-1652.
20. Wang, T. In-plane mechanical properties of birch plywood / T. Wang, Y. Wang, R. Crocetti, M. Wälinder // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 340. – P. 127852. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127852.

Сведения об авторах

Разиньков Егор Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф.Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, e-mail: rasinkov50@mail.ru.

Ищенко Татьяна Леонидовна – кандидат технических наук, доцент кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф.Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, e-mail: tl_ishchenko@mail.ru.

Трофимов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет", ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, e-mail: tsp46@gmail.ru

Information about the authors

Egor M. Razinkov – Doctor of Engineering, professor of department of mechanical technology of wood, Voronezh State University of Forestry and Technologies name after G. F. Morozov", Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, e-mail: rasinkov50@mail.ru

Tatiana L. Ishchenko – Candidate of Technical Sciences, associate professor of department of mechanical technology of wood, Voronezh State University of Forestry and Technologies name after G. F. Morozov", Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, e-mail: tl_ishchenko@mail.ru

Sergey P. Trofimov – Candidate of Technical Sciences, associate professor of department of technology and design of wood Products Educational Institution "Belarusian State Technological University", Sverdlova str., 13a, Minsk, 220006, e-mail: tsp46@gmail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author