

УДК 674.028.9

А.А. Федяев, А.Н. Чубинский

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ ХВОЙНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Введение. Одним из направлений повышения эффективности производства строительных материалов из древесины является склеивание пиломатериалов по длине на зубчатый шип и по пласти для изготовления клееного бруса. Прочность клееных балок в процессе эксплуатации зависит от многих факторов (рис. 1), в том числе от качества формирования клеевых соединений (рис. 2).

Основными из них являются свойства древесины, преимущественно плотность и влажность [Корниенко, 2016; Куликов, 1987; Чубинский, 1984, 1992, 2011; Фрейдин, 1980] и вид клея [Гайдук, 2012; Попов, 2012, 2015; Фрейдин, 1980; Чубинский, 1984, 2010]. Влияние оказывают также рельеф поверхности [Мелехов, 2014], вид склеивания (по пласти, по кромке, на зубчатый шип), размеры и форма шипа [Каратаев, 1984; Гусев, 1986].



Рис. 1. Факторы, влияющие на прочность клееных балок в процессе эксплуатации
Fig. 1. Factors affecting the strength of glued beams during operation

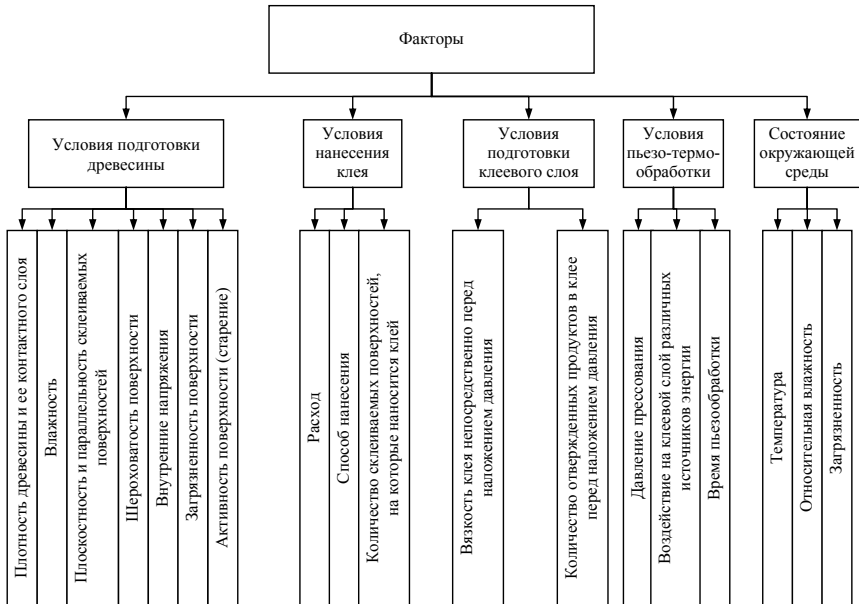


Рис. 2. Факторы, влияющие на формирование клевого соединения
 Fig 2. Factors affecting the formation of adhesive bonding

Увеличение объёмов использования древесины в строительстве, в том числе для деревянного домостроения, широкое применение для склеивания деревянных несущих конструкций меламинокарбаминоформальдегидных и эмульсионных полимеризоцианатных клеев требуют научного обоснования прочностных характеристик клеевых соединений древесины.

Методика исследований. Исследованию подлежали клеевые соединения строганых пиломатериалов из древесины сосны, ели и лиственницы толщиной 35 мм, шириной 100 мм. Пиломатериалы сращивали на зубчатый шип длиной 15 мм и шагом 3,8 мм по ГОСТ 19414–90 и склеивали по пласти. Для склеивания применяли меламинокарбаминоформальдегидный клей фирмы АКЗО НОБЕЛЬ Каскомин 1249 с отвердителем 2579, эмульсионный полимеризоцианатный PREFERE 6151 [Чубинский, 2005].

Прочность зубчатых клеевых соединений пиломатериалов испытывали в соответствии с ГОСТ 15613.4–78 «Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при статическом изгибе», а прочность склеивания по пласти – в соответствии с ГОСТ 33120–2014 «Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений».

Таблица 1

Методическая сетка эксперимента
Methodical table of the experiment

Задача исследования	Постоянные факторы		Переменные факторы		Выходной параметр	Количество результатов наблюдений				
	наименование	значение	наименование	значение		кол-во повторений опытов	кол-во повторений опыта	общее количество результатов зультатов		
1. Определены пределы прочности клевого соединения при сплошном скальвании	Клей	Каскомин 1249, PREFERE 6151	Порода древесины	Сосна Ель	Прочность	10	3	4	120	
	Толщина ламели	29 мм								
	Время выдержки под давлением	11 мин								
	Продолжительность выдержки после окончания прессования до испытания	5 сут		Влажность образца	6–10% 10–14%	Характер разрушения	10	3	4	120
	Температура окружающей среды	20±2 °С								
	Влажность окружающей среды	65±5%								
2. Определены прочностные характеристики клеевого соединения при статическом изгибе	Клей	Каскомин 1249	Порода древесины	Сосна Ель	Прочность. Характер разрушения	10	3	4	120	
	Длина шипа	15 мм								
	Шаг соединения	3,8 мм								
	Температура окружающей среды	20±2 °С								
	Влажность окружающей среды	65±5%	Влажность образца	6–10% 10–14%	Прочность. Характер разрушения	10	3	4	120	

Для оценки качества клеевых соединений фиксировали характер разрушения соединений: по древесине, по клею, смешанный.

Результаты исследований и их анализ. Известно, что с увеличением плотности древесины повышается не только её прочность, но и прочность её склеивания [Хухрянский, 1955; Полубояринов, 1976; Уголев, 2007; Чубинский, 2011].

Существенное влияние на качество клеевых соединений древесины оказывает её строение [Чубинский, 2015], неоднородное не только у разных пород, но и у древесины одной породы и даже одного дерева.

Наноструктурные различия в строении древесины характерны для клеточной стенки, состоящей из пучков макромолекул целлюлозы, которые объединяясь в микро фибриллы, образуют оболочки клеточной стенки. Различия на микро и мезоуровнях (вид, форма и размеры клеток) влияют на плотность и влажность древесины. Макроструктурные различия обусловлены наличием у древесного ствола нескольких зон (сердцевины, ювенильной зоны (может отсутствовать), ядра (спелой древесины) и заболони), наличием годичных слоёв, ранней и поздней зон годичного слоя, а также различных пороков. Адгезионная способность у этих зон существенно отличается в результате различий в плотности [Чубинский, 2011] и влажности.

С увеличением влажности свыше 12% при склеивании карбамидо- и фенолоформальдегидными клеями уровень их адгезионного взаимодействия с древесиной недопустимо снижается [Куликов, 1987].

Как показали результаты исследований авторов, широко используемые в настоящее время меламинакарбамидоформальдегидные и эмульсионные полимеризационатные клеи менее чувствительны к повышенной влажности древесины (табл. 2, 3; рис. 3). Они способны создавать клеевые соединения, близкие по прочности к прочности цельной древесины, зависящей от её плотности (рис. 4–6).

Таблица 2

**Прочность склеивания и характер разрушения
клеевых соединений пиломатериалов по пласти**
**The adhesion strength and the nature of the destruction
of adhesive bonding of the sawn timber**

Порода древесины	Клей	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Прочность, МПа	Разрушение по древесине, %	Разрушение по клеевому слою, %	Смешанное разрушение, %
Сосна	PREFERE 6151	500	6–10	7,12	30,15	16,33	53,52
			10–14	6,95	31,23	14,68	54,09
	Каскомин 1249	493	6–10	7,58	79,15	17,76	3,09
			10–14	7,33	75,89	20,93	3,18
Ель	Каскомин 1249	438	6–10	7,21	76,28	20,45	3,27
			10–14	6,98	76,21	21,87	1,92

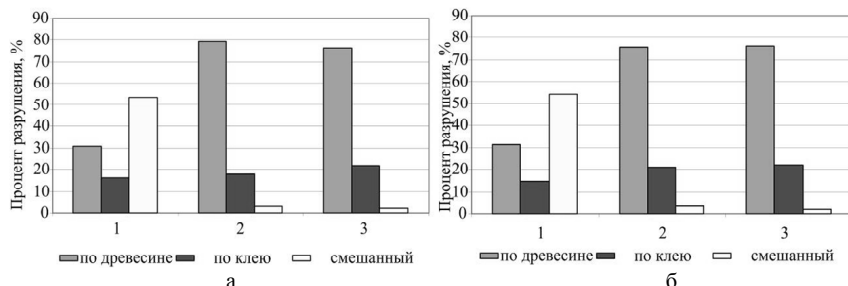


Рис. 3. Характер разрушения образцов при использовании различных пород древесины и клеев при склеивании по пласти: а – влажность древесины 6–10%; б – влажность древесины 10–14%; 1 – клей PREFERE 6151, древесина сосна; 2 – клей Каскомин 1249, древесина сосна; 3 – клей Каскомин 1249, древесина ель

Fig. 3. The nature of the destruction of the samples by using different wood species and glues: a – moisture content of wood 6–10%; b – wood moisture content 10–14%; 1 – glue PREFERE 6151, wood pine; 2 – glue Kaskomin 1249, wood pine; 3 – adhesive Kaskomin 1249, wood spruce

Таблица 3

Прочность склеивания и характер разрушения зубчатых клеевых соединений пиломатериалов

The adhesion strength and the nature of the destruction of adhesive bonding of finger joints of sawn timber

Порода древесины	Клей	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Прочность, МПа	Разрушение по древесине, %	Разрушение по клеевому слою, %	Смешанное разрушение, %
Сосна	Каскомин 1249	493	6–10	42,80	91,13	2,94	5,93
			10–14	41,52	90,07	4,29	5,64
Ель	Каскомин 1249	438	6–10	41,12	90,49	3,97	5,54
			10–14	40,06	87,64	5,28	7,08
Лиственница	ФРФ-50	637	12	51,27	88,34	4,85	6,81

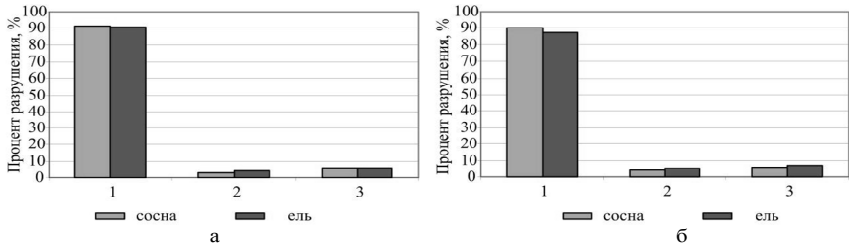


Рис. 4. Характер разрушения зубчатых соединений образцов при использовании различных пород древесины и клея Каскомин 1249: а – влажность древесины 6–10%; б – влажность древесины 10–14%; 1 – по древесине; 2 – по клею; 3 – смешанное
Fig. 4. The nature of the destruction of the finger joints bonding when using different wood species and glue Kaskomin 1249: а – moisture content of wood 6–10%; б – wood moisture content 10–14%; 1 – wood; 2 – glue; 3 – mixed

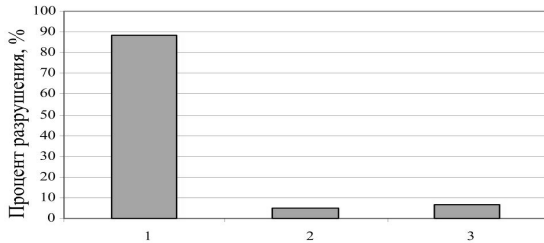


Рис. 5. Характер разрушения зубчатых соединений образцов при использовании клея Каскомин 1249 и древесины лиственницы при влажности 12%:
 1 – по древесине; 2 – по клею; 3 – смешанное

Fig. 5. The nature of the destruction of the finger joints bonding when using glue Kaskomin 1249 and larch wood at a moisture content of 12%: 1 – wood; 2 – glue; 3 – mixed

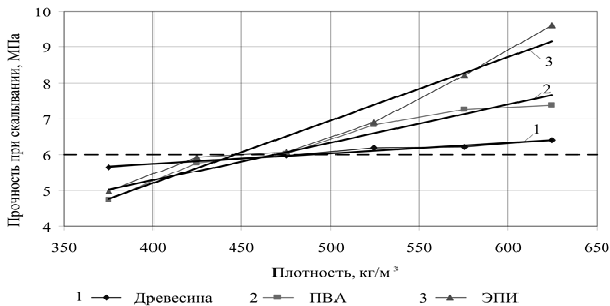


Рис. 6. Зависимость прочности клеевых соединений древесины при скалывании вдоль волокон от ее плотности (6 МПа – нормативная прочность клеевого соединения для групп эксплуатации 1а, 1б, 2а в соответствии с ГОСТ 20850–2014)
Fig. 6. Dependence of the shear strength along fibers of glue joints of wood from its density (6 МПа – the normative strength of the glue joint for groups of operations 1а, 1б, 2а in accordance with GOST 20850–2014)

Выводы. Лабораторные исследования показали, что на прочность клеевых соединений на клеях Каскомин 1249 и PREFERE 6151 порода древесины и её влажность в диапазоне 6–14% практического влияния не оказывают. Принципиальное влияние оказывает плотность древесины (табл. 3; рис. 6).

Однако известно, что в процессе эксплуатации древесина стремится к установлению равновесной влажности. Если средняя исходная влажность пиломатериалов в клееной балке 6–14%, то при высокой температуре и низкой относительной влажности внутри помещений древесина будет высушиваться, при этом её усушка будет различной в разных частях не только балки, но и каждой ламели как результат неравномерного распределения влаги, неоднородности строения и вызванной ею анизотропии свойств. В результате различной усушки в клеевом слое будут возникать нормальные напряжения способные разрушить клеевое соединение [Куликов, 1987]. Опасными являются и касательные напряжения, возникающие в клеевом слое между ламелями разной влажности. Обоснование максимально допустимого различия во влажности смежных ламелей является предметом дальнейших исследований.

Библиографический список

Гайдук С.С. Исследование прочности и водостойкости клеевых соединений на основе ПВА-дисперсий // Лесная и деревообрабатывающая промышленность: труды БГТУ. Минск: БГТУ, 2012. С. 172–174.

Гусев А.И. Клеевое соединение заготовок из древесины с помощью зубчатых шипов. А.с. №1212790. Оpubл. 23.02.1986, Бюл. № 7.

Каратаев С.Г., Гусев А.И., Исаев С.П., Чубов А.Б., Ермолаев Б.В., Чубинский А.Н. Способ соединения заготовок из древесины по длине. А.с. №1130469. Оpubл. 23.12.1984, Бюл. № 47.

Корниенко В.А., Сычёв А.Н., Таргонская М. В. Качество клеевого соединения при сращивании отрезков транспортной влажности. URL: www.science-bsea.bgita.ru/2016/les_2016/kornienro_kach.htm (дата доступа: 04.01.2018).

Куликов В.А., Сосна Л.М., Чубинский А.Н., Гусев А.И., Цой Ю.И. Склеивание влажной древесины. Л.: ЛДНТП, 1987. 28 с.

Мелехов В.И., Рудная Н.С. Влияние микрорельефа сопрягаемых поверхностей древесины на прочность склеивания // Лесной журнал. 2014. № 6. С. 173–181.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.

Попов В.М. Влияние технологических факторов на прочность клеевых соединений древесины, сформированных на основе магнитообработанных клеев // Лесотехнический журнал. 2015. № 3 (19). С. 175–182.

Попов В.М., Латынин А.А., Швырёв А.Н. Получение клееной древесины повышенной прочности на основе клея, модифицированного электрическим полем // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 6. С. 455–459.

Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. 4-е изд. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.

Фрейдин А.С., Вуба К.Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 223 с.

Хухрянский П.Н. Прочность древесины. М.: Гослесбуиздат, 1955. 152 с.

Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: СПбГУ, 1992. 164 с.

Чубинский А.Н., Сосна Л.М., Гусев А.И. Расчет напряжений в клеевом слое при сушке пиломатериалов склеенных по длине на зубчатый шип // *Лесной журнал*. 1984. № 3. С. 71–74.

Чубинский А.Н., Тамби А.А., Варанкина Г.С., Федяев А.А., Чубинский М.А., Швец В.Л., Чаузов К.В. Физические методы испытаний древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 125 с.

Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А. Влияние строения и свойств древесины на прочность её склеивания // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2010. Вып. 190. С. 155–163.

Чубинский А.Н., Усачева В.Л. К обоснованию технологии клееных материалов из древесины осины // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2005. Вып. 173. С. 123–130.

Чубинский А.Н., Федяев А.А., Тамби А.А. Влияние плотности древесины на качество формирования клеевых соединений // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2011. Вып. 195. С. 141–147.

Reference

Gaiduk S.S. Investigation of strength and water resistance of glue joints based on PVA-dispersions. *Forestry and woodworking industry. Proceedings of BSTU*. Minsk: BSTU, 2012, pp. 172–174. (In Russ.)

Gusev A.I. Glutinous mix of billets from wood with the help of spikes. Patent No. 1212790. Published February 23, 1986, Bul. №7. (In Russ.)

Karataev, S.G. Gusev A.I., Isaev S.P., Chubov A.B., Ermolaev B.V., Chubinsky A.N. The method of joining blanks from wood along the length. Patent №1130469. Published on December 23, 1984, bul. №47. (In Russ.)

Kornienko V.A., Sychov A.N., Targonskaya M.V. Quality of adhesive bonding at splices of transport humidity segments. URL: www.science-bsea.bgita.ru/2016/les_2016/kornienro_kach.htm (access date 04/01/2018). (In Russ.)

Kulikov V.A., Sosna L.M., Chubinsky A.N., Gusev A.I., Tsoy Yu.I. Bonding wet wood. L.: LHSTP, 1987. 28 p. (In Russ.)

Melekhov V.I., Rudnaya N.S. Influence of the micro relief of the interfaced wood surfaces on the bonding strength. *Forest Journal*, 2014, no. 6, pp. 173–181. (In Russ.)

Poluboyarinov O.I. Density of wood. M.: Forest Industry, 1976. 160 p. (In Russ.)

Popov V.M. The influence of technological factors on the strength of glued joints of wood formed on the basis of magnetically treated adhesives. *Forest Technical Journal*, 2015, no. 3 (19), pp. 175–182. (In Russ.)

Popov V.M., Latynin A.A., Shvyrev A.N. Production of high-strength glued wood based on an electrically modified adhesive. *Fundamental research*, 2012, no. 6, pp. 455–459. (In Russ.)

Ugolev B.N. Wood science. 4th ed. Moscow: MGUL, 2007. 351 p. (In Russ.)

Freydin A.S., Vuba K.T. Forecasting properties of glued wood compounds. Moscow: Forest Industry, 1980. 223 p. (In Russ.)

Khukhryansky P.N. Strength of wood. M.: Goslesbumizdat, 1955. 152 p. (In Russ.)

Chubinsky A.N. Formation of glue joints of wood. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 1992. 164 p. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Sosna L.M., Gusev A.I. Calculation of stresses in the adhesive layer when drying lumber glued along the length by finger joints. *Forest Journal*, 1984, no. 3, pp. 71–74. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Tambi A.A., Varankina G.S., Fedyayev A.A., Chubinsky M.A., Shvets V.L., Chazov K.V. Physical methods of testing wood. SPb.: SPbGLTU, 2015. 125 p. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Tambi A.A., Fedyayev A.A. Influence of the structure and properties of wood on the strength of its bonding. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2010, is. 190, pp. 155–163. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Usacheva V.L. To the substantiation of technology of glued materials from aspen wood. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2005, is. 173, pp. 123–130. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Fedyayev A.A., Tambi A.A. Effect of the density of wood on the quality of the formation of adhesive joints. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2011, is. 195, pp. 141–147. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 13.09.2018 г.

Федяев А.А., Чубинский А.Н. Исследование прочности склеивания хвойных пиломатериалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 225. С. 202–212. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.202-212

Исследованию прочности клеевых соединений клееных балок посвящено большое число работ отечественных учёных, анализ которых позволяет выделить существенно влияющие факторы, основными из которых являются влажность и плотность древесины и вид применяемого клея. С увеличением влажности свыше

12% при склеивании карбамидо- и фенолоформальдегидными клеями уровень их адгезионного взаимодействия с древесиной недопустимо снижается. Исследованию подлежали клеевые соединения пиломатериалов различной влажности (6–14%) из сосны и ели на меламинакарбамидоформальдегидных и эмульсионных полимеризоцианатных клеях. Зубчатые шиповые соединения испытывали на прочность при изгибе. Качество склеивания ламелей оценивали прочностью при скалывании вдоль волокон древесины по стандартным методикам. Результаты исследований показали, что широко используемые в настоящее время меламинакарбамидоформальдегидных и эмульсионных полимеризоцианатных клеи менее чувствительны к повышенной влажности древесины. Принципиальное влияние оказывает её плотность. Однако известно, что в процессе эксплуатации древесина стремится к установлению равновесной влажности. Если исходная влажность пиломатериалов в клееной балке 6–14%, то при высокой температуре и низкой относительной влажности внутри помещений древесина будет высыхать, при этом её усушка будет различной в разных частях не только балки, но и каждой ламели как результат неоднородности строения и вызванной ею анизотропии свойств. В результате различной усушки в клеевом слое будут возникать нормальные напряжения способные разрушить клеевое соединение. Опасными являются и касательные напряжения, возникающие в клеевом слое между ламелями разной влажности. Обоснование максимально допустимого различия во влажности смежных ламелей является предметом дальнейших исследований.

Ключевые слова: прочность, склеивание цельной древесины, разрушение клееного слоя.

Fedyayev A.A., Chubinsky A.N. Investigation of the strength of the gluing of coniferous saw-timber. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2018, is. 225, pp. 202–212 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.202-212

The study of the strength of glued joints of glued beams has been devoted to a large number of works of domestic scientists, the analysis of which allows us to identify significant factors, the main ones being the moisture and density of wood and the type of glue used. With an increase in moisture content of more than 12% when gluing with urea and phenol-formaldehyde adhesives, the level of their adhesive interaction with wood is unacceptably reduced. Investigation was made of glued joints of sawn timber varying moisture (6–14%) from pine and spruce on melamine-urea-formaldehyde and emulsion polymer-isocyanate glues. Finger joints were tested for strength. The quality of gluing lamellas was evaluated by the shear strength along the wood fibers according to standard methods. The results of the studies showed that the currently widely used melamine-urea -formaldehyde and emulsion polymer-isocyanate adhesives are less sensitive to increased moisture in wood. The principal influence is

exerted by its density. However, it is known that in the process of exploitation, wood tends to establish an equilibrium moisture content. If the initial moisture content of the sawn timber in the glued beam is 6–14%, then at high temperature and low relative humidity, the wood will dry up, and its shrinkage will be different in different parts of not only the beam, but also each lamella as a result of uneven distribution of moisture, the heterogeneity of the structure and its anisotropy of properties. As a result of different shrinkage in the adhesive layer, normal stresses capable of destroying the adhesive bond will arise. Dangerous are the tangential stresses arising in the adhesive layer between the lamellas of different moisture content. The rationale for the maximum permissible difference in humidity of adjacent lamellas is the subject of further research.

Key words: strength, gluing of solid wood, destruction of adhesive layer.

ФЕДЯЕВ Артур Александрович – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 8169-9209.

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

FEDYAEV Artur A. – PhD (Technical), St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8169-9209.

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

ЧУБИНСКИЙ Анатолий Николаевич – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. SPIN-код: 9752-4460.

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

CHUBINSKY Anatoly N. – DSc (Technical), St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 9752-4460.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com