

УДК 674.02

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С.И. Овсянников, Д.Ю. Шаповалов

INCREASE IN DURABILITY OF GLUE CONNECTIONS OF WOODEN DESIGNS

S.I. Ovsyannikov, D.Y. Shapovalov

Аннотация. В статье представлены результаты оценки прочности клеевых соединений ламелей из хвойных пород древесины в зависимости от технологических режимов склеивания и типа клея. Использовались два типа клея: на основе полиуретана и поливинилацетата с отвердителем, а также наиболее распространенные в строительстве породы древесины: ель, сосна, лиственница. Оценка прочностных качеств клееного бруса проводилась по методике трех факторного эксперимента в зависимости от породы древесины, расхода клея и давления прессования. По полученным данным определены коэффициенты регрессии и построены поверхности отклика в зависимости от изменения основных параметров. Установлено, что более высокое качество склеивания обеспечивается при использовании ПУР-клея при расходе 170-190 г/кв.м. и давлении прессования в пределах 0,6 – 1,0 МПа. Более прочные клеевые соединения образуются у более твердых пород, например лиственницы.

Ключевые слова: клееная древесина; прочность клеевых соединений; ПУР-клей; ПВА-клей; планирование эксперимента; уравнение регрессии.

Abstract. Results of assessment of durability of glue connections of lamels from coniferous breeds of wood depending on the technological modes of pasting and type of glue are presented in article. Two types of glue were used: on the basis of polyurethane and polyvinyl acetate with hardener and also the breeds of wood, most widespread in construction: fir-tree, pine, larch. The assessment of strength qualities of a glued bar was carried out by a technique three a factorial experiment depending on breed of wood, a consumption of glue and pressure of pressing. Coefficients of regression are determined by the obtained data and response surfaces depending on change of key parameters are constructed. It is established that higher quality of pasting is provided when using PUR-glue at an expense of 170-190 g/sq.m. and pressure of pressing within 0.6 - 1.0 MPa. Stronger glue connections are formed at stronger breeds, for example a larch.

Key words: glued wood; strength of adhesive joints; PUR-glue; PVA-glue; experiment planning; regression equation.

Клееная древесина все больше используется в строительстве. Это стеновой профилированный брус деревянных строений, балки перекрытий, стропильные конструкции и т.п. Клееные деревянные конструкции в деревянном домостроении обладают рядом преимуществ по сравнению с цельной массивной древесиной. Они надежные, легкие, долговечные, после обработки антисептиками и антипиренами довольно стойкие к гниению и горению [5].

Цельная древесина имеет ряд существенных недостатков, которые устраняются при использовании клееной древесины. Производство клееной древесины позволяет более полно использовать древесное сырье; изготавливать продукцию, наиболее полно отвечающую предъявляемым требованиям; снимает проблему ограниченного сортамента лесоматериалов; снижает влияние анизотропии строения древесины; позволяет создавать архитектурные композиции практически любой формы и размеров.

Качество клеевого соединения зависит от породы и влажности древесины, его анизотропных свойств, физико-химических процессов взаимодействия древесины и

связующего, свойств клея, выдержки технологических режимов склеивания [1, 3]. Свойства древесины оказывают наибольшее влияние на прочность клеевого соединения. В первую очередь влияние оказывают анизотропия и неоднородность структуры древесины [2, 5]. Анизотропия характеризуется отношением формы, размеров и расположением основных структурных сечений к элементам строения древесины. В настоящее время оценка прочности древесины базируется на классических теориях наступления предельного состояния под воздействием нагрузок вдоль основных плоскостей. Прочность клеевых соединений и их характеристики изучались многими исследователями [6, 7, 8]. Оценка прочностных характеристик в настоящее время производится по оценке наступления предельного состояния от приложенной нагрузки. Как показали результаты исследований прочности клеевого соединения, разрушение древесины хвойных пород происходит в основном по древесине, а не по клеевому соединению. В связи с этим объясняется разница в экспериментальных данных оценки прочности древесины, причем отмечается значительный разброс данных (до 25%). Климатические испытания показывают [6], что основными факторами, оказывающими влияние на прочность клеевого соединения, являются влажность древесины, тип клея, применение и концентрация отвердителя, наличие и размеры сучков и трещин в ламелях, наличие участков с непроклеем и т.п. Таким образом, целью данной работы является оценка прочности клеевых соединений ламелей из хвойных пород древесины в зависимости от технологических режимов склеивания и типа клея.

Прочность клеевых соединений древесины определялась в соответствии с методиками и рекомендациями ГОСТ 15613.1 «Древесина клееная. Методы определения прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон» и ГОСТ 25884 «Конструкции деревянные клееные. Метод определения прочности клеевых соединений при послойном скалывании».

Наиболее распространенными породами для производства клееных деревянных конструкций являются ель, сосна и лиственница, в экспериментах рассмотрены именно эти породы по их средним значениям плотности [5]. В испытаниях использовали клея: ПВА «Клейберит 303.0» с 5% содержанием отвердителя и расходом 140 г/м²; ПУР клей «Клейберит ПУР 501» с расходом 150 г/м². На рис. 1 представлена зависимость прочности клеевого соединения древесины различных хвойных пород в зависимости от используемого клея при скалывании вдоль волокон. Если выразить породу древесины через ее среднюю плотность, для ели 450 кг/м³, сосны - 550 кг/м³, лиственницы - 650 кг/м³, то прочность клеевого соединения может быть описана с достоверностью R² = 97 % уравнением (1) при использовании клея ПВА и (2) при использовании клея ПУР (рис. 1).

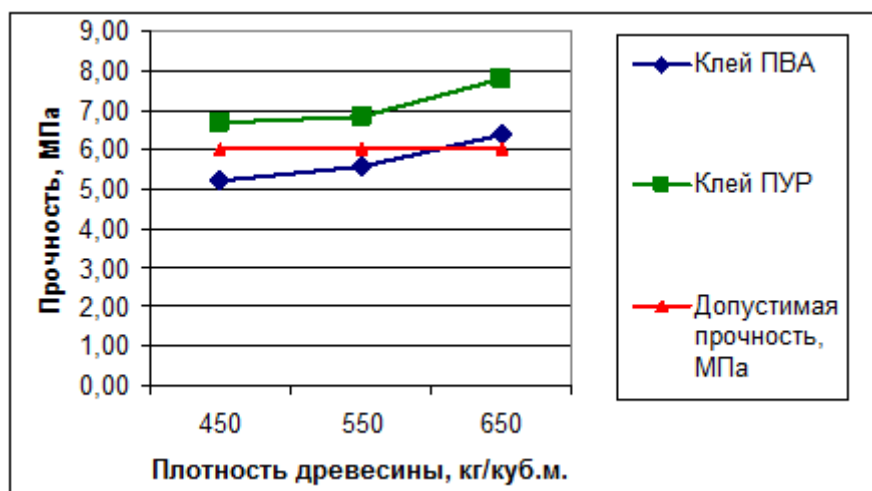


Рисунок 1 - Прочность клеевого соединения для пород ели (450 кг/м³), сосны (550 кг/м³), лиственницы (650 кг/м³) в зависимости от типа клея.

$$\tau_{ск} = 0,5775 \cdot \rho + 4,5565; \quad (1)$$

$$\tau_{ск} = 0,5397 \cdot \rho + 6,0039. \quad (2)$$

Проведенные исследования показали, что прочность клеевого соединения при использовании поливинилацетатного клея «Клеберит 303.0» (на основе ПВА) недостаточна для пород с мягкой и средней плотностью и ниже стандартных значений. Поэтому дальнейшие исследования проводились с использованием полиуретанового клея «Клейберит ПУР 501».

Для проведения полного факторного эксперимента, были выбраны следующие влияющие факторы:

- древесина распространенных хвойных пород с различной плотностью – ель (450 г/м³), сосна (550 г/м³) и лиственница (650 г/м³);
- расход клея в пределах от 100 до 200 г/м²;
- давление прессования в пределах от 0,6 до 1,2 МПа.

При проведении экспериментов некоторые факторы были установлены на постоянных уровнях, это:

- влажность древесины заготовок до эксперимента, 10 ± 2 %;
- шероховатость поверхности заготовок, 24 ± 8 мкм;
- номинальная толщина слоев ламелей, 26 мм;
- температура окружающего воздуха, 20±4 °С.

Уровни варьирования переменных факторов и их значение, а также план проведения полного факторного эксперимента первого порядка представлен в табл. 1. Оценка прочностных свойств проводилась по 18 образцам для каждого уровня матрицы планирования эксперимента.

Таблица 1 - Переменные факторы и уровни их варьирования для клея на основе ПУР.

№ п/п	Фактор	Обозначение фактора		Ед. измерения	Уровни фактора			Интервал варьирования
		X ₁	ρ		Нижний	Основной	Верхний	
1	Порода древесины (плотность)	X ₁	ρ	кг/м ³	Ель (450)	Сосна (550)	Лиственница (650)	100
2	Давление прессования	X ₂	P	МПа	0,6	0,9	1,2	0,3
3	Расход клея	X ₃	q	г/м ²	100	150	200	50
					-1	0	+1	

В результате проведения полнофакторного эксперимента и обработки полученных результатов определены коэффициенты регрессии, представленные в уравнении (3).

$$Y = 7,7 + 0,83 \cdot x_1 + 0,20x_2 + 0,03 \cdot x_3 - 0,08 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,05 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,07 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3)$$

В натуральном виде уравнение (3) примет вид:

$$\begin{aligned} \tau_{ск} = & 7,7 + 0,0083 \cdot (\rho - 550) + 0,667 \cdot (p - 0,9) + 0,0006 \cdot (q - 150) - \\ & - 0,0027 \cdot (\rho - 550) \cdot (p - 0,9) + 0,00001 \cdot (\rho - 550) \cdot (q - 150) - \\ & - 0,0047 \cdot (q - 150) \cdot (p - 0,9) \end{aligned} \quad (4)$$

где ρ - плотность древесины, кг/м³, 450 < ρ < 650; p – давление прессования, МПа, 0,6 < p < 1,2; q - расход клея, г/м², 100 < q < 200.

На основе полученного уравнения регрессии построены поверхности отклика в зависимости от породы древесины, давления прессования при склеивании и расхода клея (рис. 2).

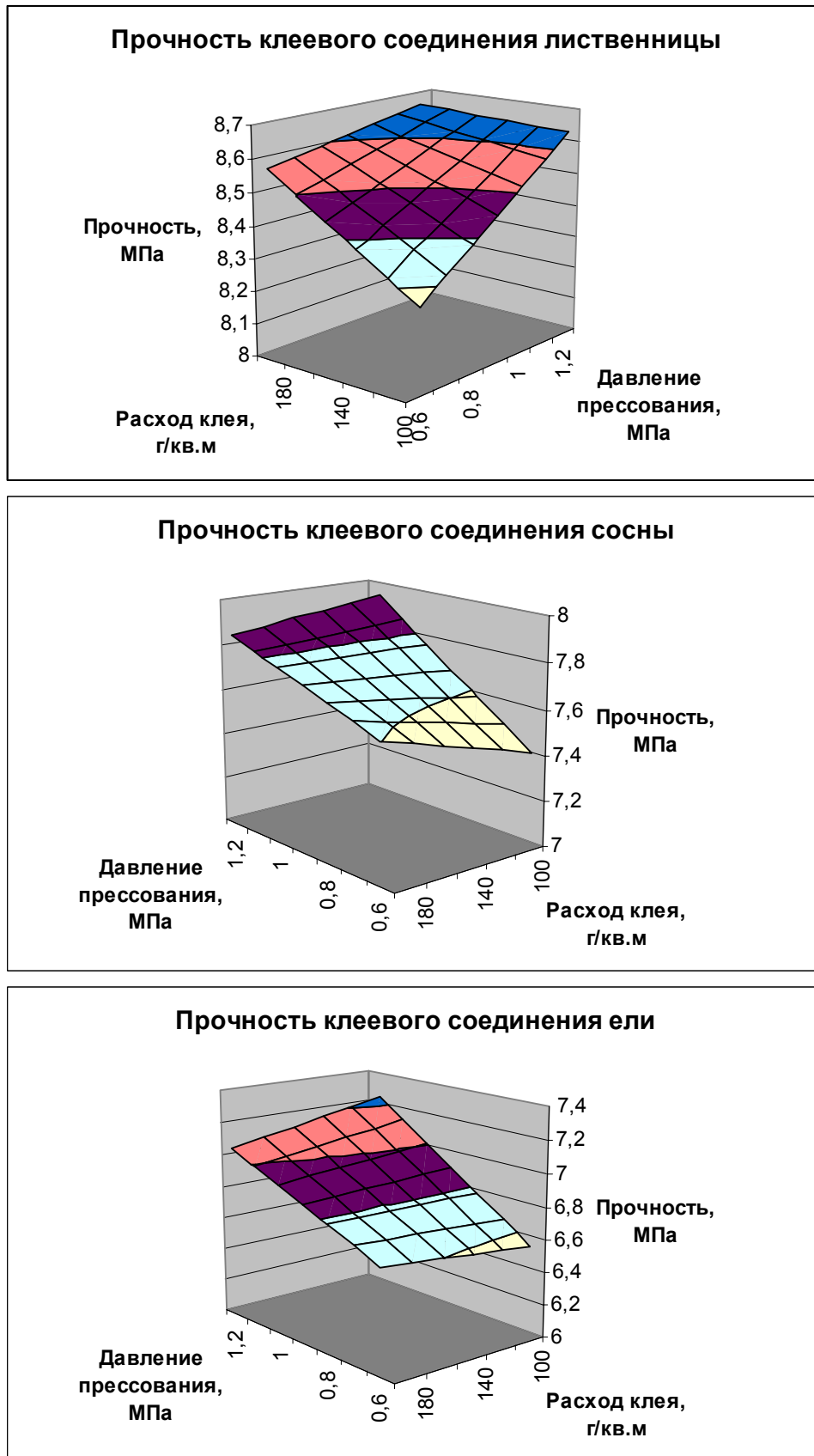


Рисунок 2 - Влияние основных факторов на прочность клеевых соединений строительного бруса с использованием полиуретанового клея при скалывании вдоль волокон

Как видно из рис. 2, на прочность клеевых соединений с использованием ПУР клея существенное влияние оказывает порода древесины и ее плотность. Следует также отметить, что с увеличением давления прочность соединения повышается, но и при среднем значении прочность вполне удовлетворительная. Расход клея достаточный во всем диапазоне изменения, но наибольшая прочность достигается при расходе 160-200 г/м². Поэтому средние значения интервала вполне обеспечат достаточное качество соединения. Также, из рис. 2 видно, что при всех уровнях варьирования прочность клеевых соединений выше минимального значения прочности, составляющей 6 МПа, что удовлетворяет требованиям стандарта. Наиболее прочные соединения достигаются у лиственницы, наименее прочные – у ели. Это объясняется прочностными свойствами самой древесины, т.к. практически во всех экспериментах разрушение происходит не по клеевому шву, а по самой древесине.

Подтверждение

Статья подготовлена в рамках развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

The article was prepared within a development program of the Base University on the basis BSTU named after V.G. Shuhov.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калугин, А. В. Деревянные конструкции [Wooden designs: manual]. М.: Изд-во АСВ, 2008. 288 с.
2. Ovsyannikov S.I. Dyachenko V.Y. Wooden nano-composite materials and prospects of their application in wooden housing construction // Materials Science Forum 931 MSF, 2018, с. 583-588
3. Тамби А.А. Технология склеивания древесины с применением рентгенографии для контроля клеевых соединений: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. СПб.: СПбГЛТА. 2009. 20 с.
4. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: СПбГУ, 1992. 164 с.
5. Овсянников С.И., Богданов И.И., Шаталова С.В. Совершенствование технологического процесса изготовления стенового клееного бруса. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. 79 с.
6. Тамби А.А., Федяев А.А. Влияние влажности древесины на прочность формируемых клеевых соединений. Молодые ученые - промышленности Северо-Западного региона. Материалы конференции политехнического симпозиума 22 мая 2009 г. СПб.: Изд-во Политехнический университет, 2009. с. 148 - 149.
7. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Ледяева А.С., Федяев А.А. Влияние расхода клея и давления прессования на качество склеивания цельной древесины. Леса России в XXI веке. Материалы первой международной научно-практической интернет конференции. Июль 2009 г. СПб.: СПбГЛТА, 2009. с. 149 - 152.
8. Тамби А.А., Федяев А.А. Влияние влажности древесины на прочность формируемых клеевых соединений. Молодые ученые - промышленности Северо-Западного региона. Материалы конференции политехнического симпозиума 22 мая 2009 г. СПб.: Изд-во Политехнический университет, 2009. с. 148 – 149.
9. Овсянников С.И., Ковш М.Ю., Шаталова С.В. Ресурсосберегающая технология производства евроокон: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018. 95 с.

REFERENCES

1. Kalugin, A. V. *Derevyanny`e konstrukczii: ucheb. posobie* [Wooden designs: manual]. Moscow: ASV Publ., 2008. 288 p.

2. Ovsyannikov S.I., Dyachenko V.Y. Wooden nano-composite materials and prospects of their application in wooden housing construction. 2018. V. 931. pp. 583-588.
3. Tambi A.A. *Tekhnologiya skleivaniya drevesiny` s primeneniem rentgenografii dlya kontrolya kleevy`kh soedinenij: Avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk* [Technology of gluing wood using X-ray for the control of adhesive joints: author. dis. on the competition acad. degree cand. tech. sci.] Sankt Petersburg: SPbGLTA. 2009. 20 p.
4. Chubinskij A.N. *Formirovanie kleevy`kh soedinenij drevesiny`* [Formation of glue compounds of wood]. Sankt Petersburg: SPbGU, 1992. 164 p.
5. Ovsyannikov S.I., Bogdanov I.I., Shatalova S.V. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo prozessa izgotovleniya stenovogo kleenogo brusa* [Improvement of technological process of production of a wall glued bar] LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. 79 p.
6. Tambi A.A., Fedyayev A.A. *Vliyanie vlazhnosti drevesiny` na prochnost` formiruemy`kh kleevy`kh soedinenij* [Influence of humidity of wood on durability of the formed glue connections] *Molody`e ucheny`e - promy`shlennosti Severo-Zapadnogo regiona. Materialy` konferenczii politekhnicheskogo simpoziuma 22 maya 2009*. Sankt Petersburg: Politekhnicheskij universitet Publ., 2009, pp. 148-149.
7. Chubinskij A.N., Tambi A.A., Ledyayeva A.S., Fedyayev A.A. *Vliyanie raskhoda kleya i davleniya pressovaniya na kachestvo skleivaniya czel`noj drevesiny`* [Influence of a consumption of glue and pressure of pressing upon quality of pasting of whole wood]. *Lesa Rossii v XXI veke. Materialy` pervoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet konferenczii. Iyul` 2009*. Sankt Petersburg: SPbGLTA, 2009, pp. 149-152.
8. Tambi A.A., Fedyayev A.A. *Vliyanie vlazhnosti drevesiny` na prochnost` formiruemy`kh kleevy`kh soedinenij* [Influence of humidity of wood on durability of the formed glue connections]. *Molody`e ucheny`e - promy`shlennosti Severo-Zapadnogo regiona. Materialy` konferenczii simpoziuma 22 maya 2009*. Sankt Petersburg: Politekhnicheskij universitet Publ., 2009, pp. 148-149.
9. Ovsyannikov S.I., Kovsh M.Yu., Shatalova S.V. *Resursosberegayushhaya tekhnologiya proizvodstva evrookon* [Resource-saving production technology of eurowindows] LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018. 95 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Овсянников Сергей Иванович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов.

E-mail: ovsrg@mail.ru

Ovsyannikov Sergey Ivanovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, PhD, as. Prof.

E-mail: ovsrg@mail.ru

Шаповалов Дмитрий Юрьевич

Белгородский государственный технологический университет, студент магистратуры.

Shapovalov Dmitry Yurievich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, The master's student.

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:
308012 г. Белгород, Россия, ул. Костюкова, 46, каф. ТМиСМ, т. +79040922707
8(4012)99-53-37