

УДК 624.07

DOI 10.25628/UNIIP.2019.40.1.013

БЕЛЯЕВА З. В.
РАЗВODOV P. И.

Эффективность применения клееных деревянных конструкций в современном строительстве



**Беляева
Зоя
Владимировна**

кандидат технических наук,
доцент кафедры строи-
тельных конструкций
и механики грунтов,
Институт строительства
и архитектуры ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный
университет»

е-mail:
belyaeva-zv@yandex.ru

В работе рассматриваются клееные деревянные конструкции как современный строительный материал. Указаны преимущества и недостатки данного материала. Приведена краткая история развития клееных деревянных конструкций в России. Отражены примеры применения такого вида конструкций. Дано описание наиболее распространенных видов клееных материалов на основе древесины. Описаны области применения для каждого вида конструкций.

Ключевые слова: клееные деревянные конструкции, LVL, CLT, LSL, PSL, древесина, устойчивое развитие, зеленое строительство.

BELYAeva Z. V., RAZVODOV R. I.
THE EFFICACY OF GLUED WOODEN STRUCTURES IN MODERN CONSTRUCTION

The article considers timber as modern building material. Advantages and disadvantages of glued wooden structures are noted. Short historical description of the development of glued wooden structures is given. Examples of application these kinds of constructions are shown. Descriptions of the most widely used types of structures are described. Sphere of use of each type of construction is given.

Keywords: glued wooden structures, LVL, CLT, LSL, PSL, wood, green building.



**Разводов
Роман
Игоревич**

магистрант кафедры
архитектуры, Институт
строительства и архитек-
туры ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный университет»

е-mail:
razvodovroman@mail.ru

Введение

До 1990-х гг. в СССР широко применялись дощато-клееные конструкции, но в России, которая обладает одним из самых больших в мире запасов древесины, в настоящее время клееные деревянные конструкции (КДК) практически не производятся и в строительстве применяются очень редко, причем в некоторых случаях материал для КДК привозят из-за рубежа. Внедрение новых технологий в деревянном строительстве в России идет медленно преимущественно из-за отставания в технологиях и консервативных взглядов на такие конструкции [2, 3].

Как показывает мировая практика, КДК обладают весомыми преимуществами, и за последние десятилетия они получили широкое распространение во многих странах. Основной областью их применения стали жилые дома и общественные здания, в том числе большепролетные сооружения, такие как бассейны, выставочные залы, крытые стадионы, рынки, церкви, клубы и т. д. При этом, например, в Германии и Швейцарии более 60% спортивного назначения и около 20% зданий павильонов возводится с применением КДК [1, 4, 10, 21]. По результатам исследований, проведенных

в США и других странах, КДК также оказываются конкурентоспособными и при строительстве мостов и переходов, в основном пешеходных, реже мостов для транспортных средств, так как затраты на строительство и эксплуатацию деревянных мостов оказываются более чем в два раза меньше, чем для железобетонных и стальных мостов [19, 22].

История развития клееных деревянных конструкций в России

В СССР первые исследования и применение КДК при строительстве начались с 1942 г., а массовое производство началось в 1973 г., к концу 1970-х гг. в стране производилось примерно 100 тыс. м³ клееных конструкций в год. Клееная древесина широко использовалась при строительстве зданий общественного, сельскохозяйственного назначения, складов минеральных удобрений, так как древесина имеет повышенную химическую стойкость в сочетании с высокой прочностью при малом весе.

В 1970–1980-е гг. была создана нормативная база, научные школы и методология проектирования. В 1980-е гг. было построено много большепролетных спортивных сооружений. В частности, построенные по проектам



Иллюстрация 1. Пансионат «Липки».
Арх.: Д. С. Солопов, Ю. П. Розовский, Л. С. Харитонов. 1983 г.
Источник: <http://www.atelicalipki.ru/fotogallereya/>



Иллюстрация 2. Склад антигололедных реагентов диаметром 70 м, г. Москва, Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В. А. Кучеренко. 1982 г. Источник: <http://iskik.elcos-design.ru/info/ldk/54/>



Иллюстрация 3. Футбольно-легкоатлетический манеж в Щелково, группа компаний «Тимбер». 2003 г.
Источник: <http://www.zaotimber.ru/all/build/palace/>



Иллюстрация 4. Аквапарк в Абзаково, АО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ». 2001 г. Источник: http://www.gipromez-mg.ru/orders/facilities-intended-for-social-needs/mountain-ski-complexes/abzakovo-biathlon-centre-holiday-home-verkhne-abzakovo-and-aquapark-aquarium/4_4.jpg/view

М. Ю. Заполя и В. И. Травуша Дворец спорта пролетом 63 м в Архангельске и Дворец спорта пролетом 55 м в Твери [4], а также несколько спортивных манежей и залов в Белоруссии. В Москве в 1983 г. был построен каток «Локомотив» с покрытием из сборных двухшарнирных арок пролетом 45 м с жестким стыком. В Подмоскowie при строительстве общественного центра «Липки» были применены сборные неразрезные балки длиной до 100 м с жесткими стыками на наклонно вклеенных связях (Иллюстрация 1).

Однако позже, в перестроечное время практически все было утрачено, и к 1996 г. отрасль почти прекратила свое существование. Тем не менее в последние годы в ней намечились положительные изменения и появилось несколько предприятий, оснащенных современным оборудованием [6]. Запроектированы и построены различные жилые и общественные сооружения с каркасами из КДК, в том числе несколько уникальных [7], таких как купол диаметром 70 м для склада антигололедных реагентов в Москве (Иллюстрация 2), склад калийных солей в Санкт-Петербурге, спортивный дворец в Щелково (Иллюстрация 3), аквапарк в Абзаково (Иллюстрация 4) и др.

Преимущества КДК и области применения

Древесина отличается высокими эстетическими и экологическими показателями, выразительной текстурой, хорошими акустическими свойствами [11], что позволяет с высокой экономической эффективностью использовать КДК в зданиях и сооружениях общественного назначения,

в спортивных сооружениях, где конструкции стремятся оставить в интерьере открытыми.

Достаточно высокая относительная прочность позволяет не только уменьшить вес надземных несущих конструкций, но и существенно вес фундаментов. Благодаря повышенной химической стойкости деревянных конструкций в сооружениях с агрессивной средой их долговечность существенно выше, чем металлоконструкций, например, в терминалах для хранения калийных солей или минеральных удобрений срок службы стальных конструкций не превышает 5–7 лет, деревянных же — более 60 лет.

Коэффициент температурного расширения вдоль волокон древесины меньше, чем у других строительных материалов, что в большинстве случаев позволяет отказать от деформационных в зданиях, а также здания с деревянным каркасом значительно меньше реагируют на разность осадок. Благодаря низкой тепло- и звукопроводности древесины КДК могут совмещать в себе несущие, теплозащитные и звукоизоляционные функции, и при использовании данного материала в конструкциях стен, перекрытий и полов обеспечивается высокая степень комфортности среды.

Недостатки и пути их устранения

Одним из основных недостатков древесины считается ее горючесть. На самом деле деревянные конструкции могут иметь большую огнестойкость, чем металлические. Так, скорость обугливания древесины составляет примерно 0,7 мм/мин, и увеличение сечения конструкции позволяет добиться ее необходимой огнестойкости, а пропитка



Иллюстрация 5. LVL-брус. Источник: <http://les-stroiservis.ru/images/12231214.jpg>



Иллюстрация 7. Клееные пиломатериалы (Laminated Strand Lumber). Источник: <http://www.euro-peanwood.org.cn/en/laminated-strand-lumber>



Иллюстрация 8. Брус с параллельно направленными волокнами (Parallel Strand Lumber). Источник: <https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/parallel-strand-lumber>

антипиренами существенно снижает опасность возгорания [8]. В случае, когда необходима повышенная огнестойкость, например в лестничных пролетах, можно выполнить конструктивную огнезащиту КДК. В несущих металлических конструкциях также неизбежна специальная дорогостоящая огнезащитная обработка, зачастую превышающая стоимость самой конструкции [9].

Загниваемость древесины можно свести к минимуму или вообще исключить при проектировании конструкций правильным сочетанием конструктивных мер с химической защитой древесины.

Исследования показывают, что прочность клееных изделий выше,



Иллюстрация 6. CLT-панель. Источник: http://stroyfora.ru/download/content/201707/image_596379eed48a74.96823838.jpg

чем у образцов из цельной древесины [18, 23]. Причем, чем больше слоев и меньше толщина слоя, тем выше прочность [25]. Это объясняется тем, что в результате склеивания под давлением происходит увеличение прочности итогового композитного материала за счет уплотнения древесины и свойств клея. Кроме прочностных показателей, клееная древесина имеет более высокий предел огнестойкости.

Современные клееные материалы на основе древесины

В настоящее время в мире успешно применяются технологии производства материалов на основе древесины, позволяющие снизить влияние недостатков цельной древесины на качество деревянных конструкций. Такие материалы производят путем склеивания шпона, строганных тонких досок (ламелей) или древесной щепы, расположенных в различных направлениях.

Клееный брус (Laminated Veneer Lumber — LVL)

Многослойный клееный материал из шпона хвойных пород древесины с преимущественно продольным расположением волокон древесины в слоях шпона получил международное название LVL (Laminated Veneer Lumber).

LVL-брус (Иллюстрация 5) был разработан в Северной Америке в 1930-х гг., а в 1960-е гг. компанией Weyerhaeuser было налажено производство этого материала. В те годы LVL преимущественно использовался для производства авиационных деталей, в том числе пропеллеров самолетов.

Благодаря небольшой толщине шпона (2–3 мм) влияние пороков древесины и ее анизотропии на прочность клееного бруса оказывается достаточно незначительным, благодаря чему прочность LVL выше, чем цельной древесины [15]. Испытания показывают, что прочность LVL-бруса в 1,5–3 раза выше прочности дощато-

клееного бруса. Конструкции из LVL-бруса, обладая большим запасом прочности и повышенной сейсмостойкостью, не требуют устройства усиленного фундамента и несущих конструкций здания и рекомендованы для использования в сейсмоопасных районах [12].

Материал имеет низкую величину естественной усушки, и влажность незначительно влияет на физические свойства LVL. Также LVL-брус обладает большей био- и огнестойкостью по сравнению с обычной древесиной [9], высокими теплоизоляционными и акустическими характеристиками. Обладая высокими физико-механическими свойствами, LVL-брус является экологически чистым композитным материалом на основе натуральной древесины, полностью сохраняет внешнюю структуру дерева, что позволяет использовать изделия и конструкции из него в интерьере, не прибегая к дополнительной отделке.

Перекрестно-клееные панели (Cross Laminated timber — CLT)

Другой технологией получения многослойного клееного материала является изготовление перекрестно-клееных панелей на основе строганных досок (ламелей) толщиной, уложенных в пакете крест-накрест (Иллюстрация 6). В итоге получается массивная древесная плита, которая получила международное название Cross laminated timber (CLT) или X-Lam, а в немецкоговорящих странах — BSP.

Панели CLT можно использовать в качестве плит покрытия или перекрытия, несущих элементов стен и лестниц. При необходимости на заводе при помощи станков механической обработки с ЧПУ можно формировать в панелях оконные и дверные проемы, технологические отверстия, кабель-каналы и прочие элементы и на выходе получить готовые сборные элементы, которые можно на строительной площадке собирать как конструктор [5, 13, 24]. Перекрестная структура CLT-панелей отвечает

самым высоким конструкционным требованиям и идеально подходит для реализации архитектурных решений любой сложности [10].

Клееные пиломатериалы (Laminated Strand Lumber – LSL)

Клееные пиломатериалы (международное название Laminated Strand Lumber) – это древесные композиционные материалы, изготовленные с применением водостойких клеев и древесной щепы размерами около $0,8 \times 25 \times 300$ мм (Иллюстрация 7). Существует два типа LSL: конструкции, в которых элементы щепы ориентированы в направлении главной оси изделия, и конструкции, в которых элементы щепы ориентированы в направлении, перпендикулярном главной оси изделия. Конструкции первого типа целесообразно использовать для изготовления линейных элементов – балок, стропил, подоконников и колонн, а конструкции второго типа хорошо зарекомендовали себя в качестве элементов плоскостных конструкций – стен, плит перекрытий, отделочных плит для полов, потолков [19, 26].

Брус с параллельно направленными волокнами (Parallel Strand Lumber – PSL)

Брус с параллельно направленными волокнами (Parallel Strand Lumber) – это еще один тип высокопрочного материала на основе древесины, получаемый склеиванием под давлением тонкой древесной щепы длиной обычно около 1,5–2 м. Технология производства PSL является практически безотходной, так как почти все части бревна используются в продукте. PSL обладает большей изотропностью, чем цельная древесина, LVL и SLT, поскольку все пороки древесины равномерно распределены в клеевой матрице, благодаря чему PSL – один из самых прочных древесных материалов, который также обладает повышенной биостойкостью [17, 20].

PSL (Иллюстрация 8) хорошо подходит для использования в качестве элементов линейных конструкций – балок, колонн, перемычек. Обычно он применяется для тяжело нагруженных колонн и стоек, а также в конструкциях, где требуется высокая прочность на изгиб. Благодаря высокой эстетической привлекательности PSL может использоваться в качестве элемента декора, а не только в скрытых конструкциях.

Заключение

Клееные конструкции на основе древесины в настоящее время являются высокотехнологичным, экологически чистым и эффективным материалом, который можно применять в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. В настоящее время огромное количество необработанной древесины в России идет на экспорт, тогда как освоение технологии производства современных и разработка новых типов клееных деревянных конструкций, а также развитие методики расчета и практики применения этих конструкций в строительстве может вывести Россию на лидирующие позиции в мире в области строительства с применением КДК.

Список использованной литературы

- 1 Беличенко М. Ю. Строительство многоэтажных зданий на основе древесины / М. Ю. Беличенко, Л. Р. Ахметова // Проблемы современной науки и инновации, 2016. № 12. – С. 31–38.
- 2 Вавилова Т. Я. Актуальные тенденции использования деревянных конструкций в архитектуре // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации, 2016. № 1. – С. 153–158.
- 3 Вавилова Т. Я. Проблемы применения массивных клееных деревянных конструкций в современной архитектуре // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации, 2017. – С. 15–19.
- 4 Кривошапко С. Н. Из истории строительства деревянных оболочек / С. Н. Кривошапко, К. П. Пятикрестовский // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2014. № 1. – С. 3–18.
- 5 Кудрявцев С. В. Определение расчетных характеристик сечений древесных клееных плит из перекрестных досок // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 2 (33). – С. 83–85.
- 6 Мещерякова А. А. Клееные деревянные конструкции и перспективы их использования // Поколение будущего: взгляд молодых ученых, 2016. Т. 3. – С. 45–48.
- 7 Погорельцев А. А. Большепролетные купола из клееной древесины с жесткими узлами системы ЦНИИСК / А. А. Погорельцев, С. Б. Турковский // Строительная механика и расчет сооружений, 2017. № 4 (273). – С. 63–70.
- 8 Погорельцев А. А. Особенности поведения несущих большепролетных конструкций из клееной древесины в условиях пожара / А. А. Погорельцев, С. Б. Турковский // Вестн. НИЦ Строительство, 2014. № 11. – С. 46–49.
- 9 Сивенков А. Б. Огнестойкость клееных деревянных конструкций типа LVL // Технологии Техносферной Безопасности, 2015. № 3 (61). – С. 116–120.
- 10 Brandner R. Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products // Engineering Structures, 2018. (171). – P. 944–960.
- 11 Caniato M. [и др.]. Acoustic of lightweight timber buildings: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. (80). – P. 585–596.
- 12 Follesa M. [и др.]. The new provisions for the seismic design of timber buildings in Europe // Engineering Structures, 2018. (168). – P. 736–747.
- 13 Fink G. Application of European design principles to cross laminated timber / G. Fink, J. Kohler, R. Brandner // Engineering Structures, 2018. (171). – P. 934–943.
- 14 Kitek Kuzman M. [и др.]. Architect perceptions of engineered wood products: An exploratory study of selected countries in Central and Southeast Europe // Construction and Building Materials, 2018. (179). – P. 360–370.
- 15 Kwon J. H. [и др.]. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment // Materials & Design (1980–2015), 2014. (62). – P. 375–381.
- 16 Loss C. State-of-the-art review of displacement-based seismic design of timber buildings / C. Loss, T. Tannert, S. Tesfamariam // Construction and Building Materials, 2018. (191). – P. 481–497.
- 17 Liu Y. Selected properties of parallel strand lumber made from southern pine and yellow-poplar / Y. Liu, A. Lee // Holzforschung, 2003. (57).
- 18 Moshtaghin A. F. [и др.]. Experimental characterization of longitudinal mechanical properties of clear timber: Random spatial variability and size effects // Construction and Building Materials, 2016. (120). – P. 432–441.
- 19 Moradpour P. [и др.]. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties // Construction and Building Materials, 2018. (158). – P. 236–242.
- 20 Parallel Strand Lumber [Electronic resource]. – URL: <https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/parallel-strand-lumber> (accessed: 12.12.2018).

- 21 Ramage M.H. [и др.]. The wood from the trees: The use of timber in construction // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. (68). — P. 333–359.
- 22 Ritter Michael A. (1990): *Timber bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance*. Washington, DC: 944 p.
- 23 Ribeiro A.S. [и др.]. Study of strengthening solutions for glued-laminated wood beams of maritime pine wood // *Construction and Building Materials*. 2009. № 8 (23). — P. 2738–2745.
- 24 Reynolds T. Comparison of multi-storey cross-laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis / T. Reynolds, D. Casagrande, R. Tomasi // *Construction and Building Materials*, 2016. (102). — P. 1009–1017.
- 25 Sikora K.S. Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear / K.S. Sikora, D. O. McPolin, A.M. Harte // *Construction and Building Materials*, 2016. (116). — P. 141–150.
- 26 Wang Z. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross-laminated timber / Z. Wang, M. Gong, Y.-H. Chui // *Construction and Building Materials*, 2015. (101). — P. 622–627.
- 12 Follesa M. [и др.]. The new provisions for the seismic design of timber buildings in Europe // *Engineering Structures*, 2018. (168). — P. 736–747.
- 13 Fink G. Application of European design principles to cross laminated timber / G. Fink, J. Kohler, R. Brandner // *Engineering Structures*, 2018. (171). — P. 934–943.
- 14 Kitek Kuzman M. [и др.]. Architect perceptions of engineered wood products: An exploratory study of selected countries in Central and Southeast Europe // *Construction and Building Materials*, 2018. (179). — P. 360–370.
- 15 Kwon J.H. [и др.]. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment // *Materials & Design (1980–2015)*, 2014. (62). — P. 375–381.
- 16 Loss C. State-of-the-art review of displacement-based seismic design of timber buildings / C. Loss, T. Tannert, S. Tesfamariam // *Construction and Building Materials*, 2018. (191). — P. 481–497.
- 17 Liu Y. Selected properties of parallel strand lumber made from southern pine and yellow-poplar / Y. Liu, A. Lee // *Holzforschung*, 2003. (57).
- 18 Moshtaghin A.F. [и др.]. Experimental characterization of longitudinal mechanical properties of clear timber: Random spatial variability and size effects // *Construction and Building Materials*, 2016. (120). — P. 432–441.
- 19 Moradpour P. [и др.]. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties // *Construction and Building Materials*, 2018. (158). — P. 236–242.
- 20 Parallel Strand Lumber [Electronic resource]. — URL: <https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/parallel-strand-lumber> (accessed: 12.12.2018).
- 21 Ramage M.H. [и др.]. The wood from the trees: The use of timber in construction // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. (68). — P. 333–359.
- 22 Ritter Michael A. (1990): *Timber bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance*. Washington, DC: 944 p.
- 23 Ribeiro A.S. [и др.]. Study of strengthening solutions for glued-laminated wood beams of maritime pine wood // *Construction and Building Materials*. 2009. № 8 (23). — P. 2738–2745.
- 24 Reynolds T. Comparison of multi-storey cross-laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis / T. Reynolds, D. Casagrande, R. Tomasi // *Construction and Building Materials*, 2016. (102). — P. 1009–1017.
- 25 Sikora K.S. Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear / K.S. Sikora, D. O. McPolin, A.M. Harte // *Construction and Building Materials*, 2016. (116). — P. 141–150.
- 26 Wang Z. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross-laminated timber / Z. Wang, M. Gong, Y.-H. Chui // *Construction and Building Materials*, 2015. (101). — P. 622–627.

Spisok ispol'zovannoj literatury

- 1 Belichenko M. Yu. Stroitel'stvo mnogoetazhnyh zdaniy na osnove drevesiny / M. Yu. Belichenko, L. R. Ahmetova // *Problemy sovremennoj nauki i innovacii*, 2016. № 12. — S. 31–38.
- 2 Vavilova T. Ya. Aktual'nye tendencii ispol'zovaniya derevyannyh konstrukcij v arhitekture // *Arhitektura i dizajn: istoriya, teoriya, innovacii*, 2016. № 1. — S. 153–158.
- 3 Vavilova T. Ya. Problemy primeneniya massivnyh kleenyyh derevyannyh konstrukcij v sovremennoj arhitekture // *Arhitektura i dizajn: istoriya, teoriya, innovacii*, 2017. — S. 15–19.
- 4 Krivoschapko S.N. Iz istorii stroitel'stva derevyannyh obolochek / S.N. Krivoschapko, K.P. Pyatikrestovskij // *Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*, 2014. № 1. — S. 3–18.
- 5 Kudryavcev S.V. Opredelenie raschetnyh karakteristik sechenij drevesnyh kleenyyh plit iz perekrestnyh dosok // *Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN*. 2017. № 2 (33). — S. 83–85.
- 6 Meshcheryakova A. A. Kleenyye derevyannyye konstrukcii i perspektivy ih ispol'zovaniya // *Pokolenie budushchego: vzglyad molodyh uchenyyh*, 2016. T. 3. — S. 45–48.
- 7 Pogorel'cev A. A. Bol'sheproletnyye kupola iz kleenoy drevesiny s zhestkimi uzlami sistemy CNIISK / A.A. Pogorel'cev, S.B. Turkovskij // *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*, 2017. № 4 (273). — S. 63–70.
- 8 Pogorel'cev A. A. Osobennosti povedeniya nesushchih bol'sheproletnyh konstrukcij iz kleenoy drevesiny v usloviyah pozhara / A.A. Pogorel'cev, S.B. Turkovskij // *Vestn. NIC Stroitel'stvo*, 2014. № 11. — S. 46–49.
- 9 Sivenkov A.B. Ognestojkost' kleenyyh derevyannyh konstrukcij tipa LVL // *Tekhnologii Tekhnosfernoj Bezopasnosti*, 2015. № 3 (61). — S. 116–120.
- 10 Brandner R. Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products // *Engineering Structures*, 2018. (171). — P. 944–960.
- 11 Caniato M. [и др.]. Acoustic of lightweight timber buildings: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. (80). — P. 585–596.
- 12 Follesa M. [и др.]. The new provisions for the seismic design of timber buildings in Europe // *Engineering Structures*, 2018. (168). — P. 736–747.
- 13 Fink G. Application of European design principles to cross laminated timber / G. Fink, J. Kohler, R. Brandner // *Engineering Structures*, 2018. (171). — P. 934–943.
- 14 Kitek Kuzman M. [и др.]. Architect perceptions of engineered wood products: An exploratory study of selected countries in Central and Southeast Europe // *Construction and Building Materials*, 2018. (179). — P. 360–370.
- 15 Kwon J.H. [и др.]. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment // *Materials & Design (1980–2015)*, 2014. (62). — P. 375–381.
- 16 Loss C. State-of-the-art review of displacement-based seismic design of timber buildings / C. Loss, T. Tannert, S. Tesfamariam // *Construction and Building Materials*, 2018. (191). — P. 481–497.
- 17 Liu Y. Selected properties of parallel strand lumber made from southern pine and yellow-poplar / Y. Liu, A. Lee // *Holzforschung*, 2003. (57).
- 18 Moshtaghin A.F. [и др.]. Experimental characterization of longitudinal mechanical properties of clear timber: Random spatial variability and size effects // *Construction and Building Materials*, 2016. (120). — P. 432–441.
- 19 Moradpour P. [и др.]. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties // *Construction and Building Materials*, 2018. (158). — P. 236–242.
- 20 Parallel Strand Lumber [Electronic resource]. — URL: <https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/parallel-strand-lumber> (accessed: 12.12.2018).
- 21 Ramage M.H. [и др.]. The wood from the trees: The use of timber in construction // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. (68). — P. 333–359.
- 22 Ritter Michael A. (1990): *Timber bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance*. Washington, DC: 944 p.
- 23 Ribeiro A.S. [и др.]. Study of strengthening solutions for glued-laminated wood beams of maritime pine wood // *Construction and Building Materials*. 2009. № 8 (23). — P. 2738–2745.
- 24 Reynolds T. Comparison of multi-storey cross-laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis / T. Reynolds, D. Casagrande, R. Tomasi // *Construction and Building Materials*, 2016. (102). — P. 1009–1017.
- 25 Sikora K.S. Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear / K.S. Sikora, D. O. McPolin, A.M. Harte // *Construction and Building Materials*, 2016. (116). — P. 141–150.
- 26 Wang Z. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross-laminated timber / Z. Wang, M. Gong, Y.-H. Chui // *Construction and Building Materials*, 2015. (101). — P. 622–627.

Belyaeva Z.

Cand.tech.Sci., the senior lecturer of Chair of building structures and soil mechanics, Institute of architecture and construction FGAOU in Ural Federal University

Razvodov R.

Undergraduate Department of architecture, Institute of civil engineering and architecture FGAOU in Ural Federal University