УДК 539.4

© А. Г. Черных, д-р. техн. наук, профессор
© Е. В. Данилов, канд. техн. наук, ст. преподаватель
© П. С. Коваль, ст. преподаватель
© Ш. М. Мамедов, канд. экон. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: chagrig@lan.spbgasu.ru, sleepme@mail.ru,
kovaljpavel@gmail.com, mamedov_am@bk.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-100-106

© A. G. Chernykh, Dr. Sci. Tech., Professor
© E. V. Danilov, PhD in Sci. Tech., senior lecturer
© P. S. Koval, senior teacher
© Sh. M. Mamedov, PhD in Sci. Ec., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: chagrig@lan.spbgasu.ru, sleepme@mail.ru,
kovaljpavel@gmail.com, mamedov_am@bk.ru

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ, НОРМИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ LVL БРУСА В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ

REVIEW OF RESEARCH WORKS, REGULATION AND APPLICATION OF LVL BEAM IN DOMESTIC AND FOREIGN CONSTRUCTION PRACTICE

Проведен обзор современных исследований, посвященных изучению материала на основе древесины — бруса Laminated Veneer Lumber (LVL), прослежена степень включения новых данных о материале во времени, а также рассмотрены современные конструкции с использованием LVL бруса и перспективы его применения.

Ключевые слова: LVL, деревянные конструкции, расчет, проектирование.

The paper provides an overview of modern investigations devoted to the study of wood - based material (LVL). The degree of including new data concerning the material in time is highlighted, modern designs using LVL and prospects for its application are considered.

Keywords: LVL, wooden structures, calculation, design.

В последнее десятилетие все большее распространение в строительной отрасли Российской Федерации получает применение бруса клееного из однонаправленного шпона LVL (англ. Laminated Veneer Lumber). Данный материал представляет собой брус (реже плиту), состоящий из слоев лущеного шпона, обычно толщиной 3–4 мм, склеенных вдоль волокон. При этом у разных производителей толщина продукции колеблется от 19 до 106 мм, ширина продукции — от 200 до 1250 мм, а длина ограничена только габаритами транспортных средств и условиями транспортирования. По сравнению с конструкционными пиломатериалами из цельной и клееной древесины LVL имеет более высокие прочностные и жесткостные характеристики. В. Н. Волынский приводит ориентировочные данные, согласно которым допускаемое напряжение при изгибе LVL выше на 12,5 %, чем у клееных пиломатериалов, и на 31,3 %, чем у конструкционных пиломатериалов из цельной

древесины; допускаемое напряжение при сдвиге LVL выше на 29,4 %, чем у клееных пиломатериалов и конструкционных пиломатериалов из цельной древесины; модуль упругости при изгибе LVL выше на 21,5 %, чем у клееных пиломатериалов и на 34,6 %, чем у конструкционных пиломатериалов из цельной древесины [3]. Это достигается за счет того, что, во-первых, LVL является композитным материалом, содержащим клеевую прослойку и древесину, а во-вторых, его прочностные и упругие характеристики не понижаются из-за естественных пороков древесины — при склеивании пакета все пороки распространяются не более чем на один слой, что в значительной мере повышает стабильность свойств материала по сечению. Вместе с тем LVL, как и древесина, является сильно анизотропным материалом. Если деревянный брус при пренебрежении его неоднородностью может рассматриваться как ортотропное тело с цилиндрической

анизотропией [11], то LVL максимально приближен к ортотропной схеме анизотропии.

Согласно данным работы [5] технологию производства LVL разработали в США в 1930-х годах. Во время Второй мировой войны материал использовали в самолетостроении для изготовления пропеллеров, а с 1970-х годов — для строительных балок и ферм. При этом LVL использовался в качестве поясов двутавровых балок со стенкой из ориентированно-стружечной плиты (ОСП) для конструкций перекрытия в малоэтажном жилищном строительстве. Двутавровые деревянные балки имеют широкое распространение и в наше время. На этот тип конструкций в США введен стандарт ASTM D5055-12¹, а также проведены многочисленные исследования [19, 21 и др.]. Тем не менее, применение этого материала в мировой практике не является повсеместным ввиду недостаточного изучения свойств такого бруса, относительно высокой стоимости и популярности меньшей, чем у других клееных деревянных конструкций. Требуется комплексный обзор направлений исследований и применения LVL бруса в современном строительстве для определения перспектив его развития.

Как отмечает Л. М. Ковальчук, технология получения LVL схожа с технологией производства фанеры с учетом особенностей, возникающих из-за большей толщины склеиваемых листов шпона и сонаправленности расположения их волокон в каждом слое [8]. Стыкование листов шпона по длине производится на ус, внахлест или встык, при этом соблюдается условие несопадения швов в соседних слоях шпона.

Производство LVL налажено в США, Канаде, Австралии², Японии, Китае, Финляндии, России и других странах мира. При этом в различных регионах, как правило, применяются различные клеи и шпон местных древесных пород. В отечественной практике распространен LVL брус из шпона хвойных пород (сосна, ель), склеенного фенолформальдегидными клеями. Встречается в основном LVL двух производителей — UGRA (завод «ЛВЛ-Югра», мощность до 31 тыс. м³/год, г. Нягань, РФ) и Ultralam (завод «Талион-Терра»,

мощность до 150 тыс. м³/год, г. Торжок, РФ). Впервые на территории Российской Федерации производство данного материала было освоено в 2003 г. на предприятии ОАО «ЛВЛ-Югра».

LVL брус применяется в строительстве для несущих и ограждающих конструкций (рис. 1). Большую перспективу имеет жилищное малоэтажное домостроение с применением унифицированных конструкций из LVL бруса, реконструкция перекрытий старого жилого фонда, усиление деревянных конструкций [7], надстройка мансардных этажей, возведение большепролетных и пространственных конструкций из LVL бруса и другие направления работы. По технологическим параметрам изготовление конструкций из данного материала возможно в заводских и построечных условиях. Широкий выбор типоразмеров LVL позволяет минимизировать трудозатраты и количество отходов при производстве строительных конструкций как на заводе, так и на строительной площадке.

В статье [9] Л. М. Ковальчук говорит, что до последнего времени в нашей стране отсутствовали специальные нормативные документы, в которых были бы сформулированы специфичные требования к LVL, поэтому на практике проектирования пользовались основными положениями зарубежных норм^{3,4}. Также общие рекомендации по применению материала в конструкциях зданий и сооружений частично содержатся в нормативной литературе по проектированию деревянных конструкций, в том числе клееных^{5,6}.

В 2010 году ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко совместно с крупнейшим в стране производителем однонаправленного клееного шпона разработал первый отечественный документ, в котором учитывается специфика применения рассматриваемого материала (приведены требования к транспортированию, хранению и монтажу, общие указания по проектированию конструкций, конструкционные и химические меры защиты, меры

³ ASTM D5456-06. Standard specification for evaluation of structural composite lumber products.

⁴ EN 1995-1-1:2004. Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.

⁵ Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.

⁶ Руководство по проектированию клееных деревянных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1977. 189 с.

¹ ASTM D5055-12. Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists.

² Structural plywood & LVL design manual. Engineered Wood Products Association of Australasia. Australia, 2009. 270 p.

Рис. 1. Каркас жилого дома с использованием LVL бруса.
Источник: http://lvlbrus.ru/fotogallereya/gatchina_fahverkovyj_dom/?p=4

по обеспечению пожарной безопасности) — стандарт организации СТО 36554501-021-2010⁷.

Следующим этапом на пути нормирования требований к однонаправленному клееному шпону и конструкциям на его основе стало упоминание материала в СП 64.13330.2011 — актуализированной редакции СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции», вышедшей в 2011 году⁸. В Свод правил были впервые включены требования к прочностным и упругим характеристикам, а также клеям для производства LVL. Согласно СП 64.13330.2011 допускаемые напряжения для LVL в среднем выше, чем для конструкционных пиломатериалов из цельной и клееной древесины при изгибе, на 76,3 %, что, несомненно, говорит о перспективности применения материала. Также следует отметить, что СТО 36554501-021-2010 приводит еще более высокие прочностные характеристики LVL. Объяснить это возможно увеличенными коэффициентами запаса, изначально заложенными в характеристики однонаправленного клееного шпона при их нормировании в СП 64.13330.2011.

⁷ СТО 36554501-021-2010. Деревянные конструкции. Многослойный клееный из шпона материал Ultralam (Ультралам). Общие технические требования.

⁸ СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.

Впервые в СССР аналог LVL был применен в ЛИСИ Е. Н. Серовым и Е. И. Светозаровой при разработке жестких рамных узлов [1, 13], причем это была гнутоклееная конструкция.

Также темой одних из первых работ, посвященных изучению конструкций с применением однонаправленного клееного шпона, стало усиление деревянных клееных балок однонаправленной фанерой [2, 6, 10]. Принцип усиления заключался в том, что к наиболее напряженным сжатой и/или растянутой наружным зонам клееных балок приклеивался многослойный клееный из однонаправленного тонкого шпона материал (аналог LVL), обладающий большей прочностью на сжатие и растяжение вдоль волокон, чем древесина. По результатам испытаний было выявлено, что при усилении сжатой и растянутой зон балок из древесины сосны первого и второго сорта однонаправленным шпоном (около 16 % сечения) прочность возрастала до 41 %; при усилении только растянутой зоны балок из древесины сосны третьего сорта однонаправленным шпоном (около 8 % сечения) прочность возрастала до 75 % [2]. На предложенные клееные балки было получено авторское свидетельство [6].

Зарубежными авторами проведены многочисленные экспериментальные исследования

физико-механических свойств однонаправленного клееного шпона, узлов соединений элементов, а также конструкций из этого материала. М. А. Verwest изучено влияние температурных режимов при производстве LVL на длительную прочность. Желательными признаны температуры свыше 171 °C [22]. Р. Clouston проведено исследование применимости ряда критериев прочности к однонаправленному клееному шпону [20]. Выполнено сравнение на основе экспериментальных данных теорий прочности ортотропного материала Цая – Хилла, Норриса, Цая – Ву и Тана – Ченга. Признано, что критерий прочности Цая – Ву наиболее точен в отношении LVL.

В последние годы в нашей стране выполнен ряд исследовательских работ по изучению LVL. Характерно, что современные отечественные исследователи в своих работах практически не опирались на работы, проведенные в нашей стране в 1960–70-х гг., а также на современные зарубежные исследования LVL.

В 2009 г. в СПбГАСУ Д. А. Животовым была выполнена работа, посвященная применению однонаправленного клееного шпона в плоских балочных фермах [4]. На основе многофакторного анализа технико-экономических характеристик ферм различных очертаний намечены рациональные схемы конструкций (плоских балочных ферм); проведены экспериментальные исследования прочностных и жесткостных характеристик материала, а также плоских ферм из LVL с различными решениями соединения элементов решетки в узлах; предложены расчетные формулы для проектирования составных элементов конструкций из однонаправленного клееного шпона.

В рамках разработки СТО 36554501-021–2010 в ЦНИИСК Л. М. Ковальчуком, А. Д. Ломакиным, Ю. Ю. Славиком, А. Н. Пьяновым, Д. С. Солоницыным в 2010 г. было проведено исследование материала Ultralam. Было выяснено, что работа соединений LVL на податливых связях характеризуется ярко выраженной нелинейностью роста деформаций; полученные расчетные значения несущей способности нагеля для соединений из однонаправленного клееного шпона на 15–20 % выше, чем для соединений из цельной древесины сосны. Было предложено при проектирова-

нии нагельных соединений из LVL по методике СП 64.13330.2011 использовать коэффициент условий работы по материалу 1,15. Также было исследовано поведение однонаправленного клееного шпона при воздействии на него атмосферных условий (в ненагруженном состоянии). При этом пласти или торцы элементов из LVL покрывались различными защитными составами.

ЛенНИИпроектом совместно с ЦНИИСК разработаны и введены в эксплуатацию усиленные балки пролетом до 18 м с клееными стержнями. Произведены экспериментальные исследования по определению оптимального угла наклона клеенных стержней относительно волокон [14]. Применение таких усиленных балок может расширить область применения материала.

В 2014 г. в нашей стране разработан и издан ГОСТ 33124–2014 «Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия», содержащий требования к производству LVL. Введение в действие данного стандарта будет способствовать более широкому применению LVL не только в России, но и в странах Евразийского совета по стандартизации, метрологии и сертификации.

Кафедрой конструкций из дерева и пластмасс СПбГАСУ в 2011–2012 гг. была продолжена работа по изучению соединений элементов из однонаправленного клееного шпона на податливых связях [15] (рис. 2). Произведен сравнительный анализ методов расчета нагельных соединений элементов из LVL по вновь принятым отечественным (СП 64.13330.2011) и европейским (EN 1995-1-1:2004) нормам. Сделан вывод о недостаточном полном учете свойств материала в расчете в соответствии с СП 64.13330.2011, вследствие чего расчетная несущая способность соединений значительно занижается.

Также в СПбГАСУ теоретически и экспериментально изучались конструкции из LVL бруса с использованием различных разновидностей соединителей (рис. 3): когтевых шайб, шурупов, нагелей. Определялись жесткостные и прочностные характеристики соединений LVL, предложен алгоритм расчета соединений и конструкций с использованием LVL [15, 17]. Проводились работы по численному моделированию поведения конструкций с использованием LVL при изменении угла наклона слоев шпона в среде програм-

Рис. 2. Проведение испытаний соединений из LVL бруса с нагелями

Рис. 3. Испытания фермы из LVL с использованием нагельных соединений с когтевыми шайбами

мы SCAD [18]. Выполнена работа по изучению влияния грибов-деструкторов на LVL брус [12].

Таким образом, изучение свойств LVL бруса является необходимым для применения материала в строительстве. Развитие норм проектирования позволит расширить спектр применения материала, а развитие технологий изготовления — снизить стоимость готовой продукции.

Библиографический список

1. А. с. 234638 СССР, Кл. 37a, 1/48; МПК Е 04b. Сопряжение элементов клееных деревянных конструкций / Е. И. Светозарова, Е. Н. Серов, В. Д. Попов;

Ленинградский инженерно-строительный институт. № 1173343/29-33; заявл. 07.07.1967; опубл. 10.01.1969.

2. Варфоломеев Ю. А. Усиление клееных деревянных конструкций с помощью многослойного клееного материала из однонаправленного шпона // Деревообрабатывающая промышленность. 2010. Спецвыпуск. С. 35–37.

3. Волынский В. Н. Технология клееных материалов. Архангельск: Изд-во АрхГТУ, 1998. 299 с.

4. Животов Д. А. Применение бруса, клееного из однонаправленного шпона, в плоских балочных фермах: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2009. 299 с.

5. Казейкин В. С., Баронин С. А., Черных А. Г., Андросов А. Н. Проблемные аспекты развития мало-

этажного жилищного строительства в России. М.: Инфра-М, 2011. 278 с.

6. А. с. 897996 СССР, М. Кл. Е 04 С3/12. Деревянная балка / Л. М. Ковальчук, Ю. А. Варфоломеев, А. С. Жукова, Р. Н. Верещагина; ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. № 2917192/29-33; заявл. 25.04.1980; опубл. 15.01.1982.

7. Ковальчук Л. М. Применение многослойного клееного из шпона материала для усиления конструкций театрально-зрительных залов // Деревообрабатывающая промышленность. 2010. Спецвыпуск. С. 38–40.

8. Ковальчук Л. М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Стройматериалы, 2005. 334 с.

9. Ковальчук Л. М. Нормирование требований к многослойному клееному из однонаправленного шпона материалу и конструкциям на его основе // Деревообрабатывающая промышленность. 2010. Спецвыпуск. С. 14–18.

10. Ковальчук Л. М., Жукова А. С., Знаменский Е. М., Колесников Н. А., Варфоломеев Ю. А. Усиление деревянных клееных балок однонаправленной фанерой // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1981. № 1. С. 22–26.

11. Лехницкий С. Г. Анизотропные пластинки. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Гостехиздат, 1957. 463 с.

12. Миронова С. И., Москалев М. Б., Ковжина А. Л., Серова Т. А. Исследование поражения микроскопическими грибами образцов из сосны и LVL // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 145–151.

13. Светозарова Е. И., Серов Е. Н. и др. Опыт проведения испытаний клееных деревянных рам пролетом 18 м // Повышение надежности и долговечности строительных конструкций: межвуз. темат. науч.-техн. сб. № 2. Л.: ЛИСИ, 1972. С. 97–114.

14. Турковский С. Б., Погорельцев А. А., Родионов А. Е. Применение соединений на клеенных стержнях в конструкциях из однонаправленного клееного шпона (LVL) // Сб. науч. тр. 17-го Междунар. симпозиума «Современные строительные конструкции из металла и древесины», Одесса, 3–6 июня 2013 г. Одесса: Одесская гос. академия строительства и архитектуры, 2013. С. 276–282.

15. Черных А. Г., Григорьев К. С., Коваль П. С., Данилов Е. В., Бакрышева В. В., Кашипов И. Т. К вопросу определения несущей способности нагельных соединений в конструкциях из бруса, клееного из однонаправленного шпона (LVL) // Современные проблемы науки и образования. 2012. Вып. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2012/4/135.pdf>.

16. Данилов Е. В. Исследование кратковременной прочности LVL при смятии треугольным штампом // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 1 (42). С. 28–33.

17. Глухих В. Н., Черных А. Г., Данилов Е. В. Деревянные конструкции с применением когтевых шайб и учетом начальных напряжений древесины. СПб.: СПбГАСУ, 2018. 284 с.

18. Циулин Е. Ю., Шмидт А. Б. Численное моделирование модуля упругости LVL с различным сочетанием взаимно перпендикулярных слоев шпона // Лесной журнал. 2018. № 6 (366). С. 138–148.

19. Bamberg C. R. Lateral Movement of Unbraced Wood Composite I-Joists Exposed to Dynamic Walking Loads: MSc thesis. USA, Virginia Polytechnic Institute, 2009. 90 p.

20. Clouston P. The Tsai-Wu Strength Theory for Douglas-fir laminated veneer: MSc thesis. USA, University of British Columbia, 1995. 120 p.

21. Morrissey G. C., Dinehart D. W., Dunn W. G. Wood I-Joists with Excessive Web Openings: An Experimental and Analytical Investigation // Journal of Structural Engineering. 2009. June. Pp. 655–665.

22. Verwest M. A. Effect of manufacturing temperature of laminated veneer lumber on duration of load behavior: MSc thesis. USA, Washington State University, 2002. 561 p.

References

1. A.s. 234638 SSSR, Kl. 37a, 1/48; MPK E 04b. Svetozarova E. I., Serov E. N., Popov V. D. *Sopryazhenie elementov kleynykh derevyannykh konstruktсий* [Conjugation of elements of glued wooden structures]. Leningradskiy inzhenerno-stroitel'niy institut Publ., no. 1173343/29-33; Leningrad, 1969.

2. Varfolomeev Yu. A. *Usilenie kleynykh derevyannykh konstruktсий s pomoshch'yu mnogosloynogo kleenogo materiala iz odnonapravlennoy shpona* [Strengthening of glued wooden structures using multilayer adhesive material of unidirectional veneers]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* – Woodworking industry, 2010, Special issue, pp. 35–37.

3. Volynskiy V. N. *Tekhnologiya kleynykh materialov* [Technology of glued materials]. Arkhangelsk, ArkhGTU Publ., 1998, 299 p.

4. Zhivotov D. A. *Primenenie brusa, kleenogo iz odnonapravlennoy shpona, v ploskikh balochnykh fermakh*. Diss. kand. tekhn. nauk [Use of timber, glued laminated from unidirectional veneer in flat lattice beams. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2009, 299 p.

5. Kazeykin V. S., Baronin S. A., Chernykh A. G., Androsova A. N. *Problemnye aspekty razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii* [Problematic aspects of low-rise housing development in Russia]. Moscow, Infra-M Publ., 2011, 278 p.

6. A.s. 897996 SSSR, M. Kl. E 04 S3/12. Koval'chuk L. M., Varfolomeev Yu. A., Zhukova A. S., Vereshchagina R. N.

Derevyannaya balka [Wooden beam]. TsNIISK im. V. A. Kucherenko Publ., no. 2917192/29-33. Moscow, 1982.

7. Koval'chuk L. M. *Primenenie mnogosloynogo kleenogo iz shpona materiala dlya usileniya konstruktivnykh teatral'no-zritel'nykh zalov* [News of higher educational institutions. Construction and architecture]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* – Woodworking industry, 2010. Special issue, pp. 38–40.

8. Koval'chuk L. M. *Proizvodstvo derevyannykh kleennykh konstruktivnykh* [Production of wooden glued structures]. Moscow, Stroymaterialy [Building Materials]. 2005, 334 p.

9. Koval'chuk L. M. *Normirovanie trebovaniy k mnogosloynomu kleenomu iz odnonapravlennoy shpony materialu i konstruktivnykh na ego osnove* [Normalization of requirements for multi-layer glued from unidirectional veneer material and structures based on it]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* – Woodworking industry, 2010, Special issue, pp. 14–18.

10. Koval'chuk L. M., et al. *Usilenie derevyannykh kleennykh balok odnonapravlennoy faneroy* [Strengthening of wooden glued beams with unidirectional plywood]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura* – News of higher educational institutions. Construction and architecture, 1981, no. 1, pp. 22–26.

11. Lekhnitskiy S. G. *Anizotropnye plastinki* [Anisotropic plates]. 2-nd ed., revised. Moscow, Gostekhnizdat Publ., 1957, 463 p.

12. Mironova S. I., Moskalev M. B., Kovzhina A. L., Serova T. A. *Issledovanie porazheniya mikroskopicheskimi gribami obraztsov iz sosny i LVL* [Investigation of microscopic fungi causing decay of pine wood and LVL samples]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 1 (48), pp. 145–151.

13. Svetozarova E. I., et al. *Opyt provedeniya ispytaniy kleennykh derevyannykh ram proletom 18 m* [Experience in testing glued wooden frames with a span of 18 m]. *Trudy mezhvuz. temat. nauch.-tekhn. conf. «Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti stroitel'nykh konstruktivnykh»* [Proc. of the Intercollegiate themed sci.–tech. conf. “Improving the reliability and durability of building structures”]. No. 2. Leningrad, LSI Publ., 1972, pp. 97–114.

14. Turkovskiy S. B., Pogorel'tsev A. A., Rodionov A. E. *Primenenie soedineniy na vkleennykh sterzhnyakh v konstruktivnykh iz odnonapravlennoy kleenogo shpony (LVL)* [Application of joints on glued rods in structures made of unidirectional glued veneer (LVL)]. *Trudy*

17-go Mezhdunar. Simpoziuma June 3–6, 2013, Odessa «Sovremennyye stroitel'nye konstruktivnyye iz metalla i drevesiny» [Proc. of the 17-th Int. Symposium, June 3–6, 2013, Odessa “Modern building structures made of metal and wood”]. Odessa, Odesskaya gos. akademiya stroitel'stva i arkhitektury Publ., 2013, pp. 276–282.

15. Chernykh A. G., et al. *K voprosu opredeleniya nesushchey sposobnosti nagel'nykh soedineniy v konstruktivnykh iz brusa, kleenogo iz odnonapravlennoy shpony (LVL)* [On the issue of determining the load-bearing capacity of Nagel joints in structures made of timber glued from unidirectional veneer (LVL)]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* – Modern problems of science and education, 2012, iss. 4. Available at: <http://www.science-education.ru/pdf/2012/4/135.pdf>

16. Danilov E. V. *Issledovanie kratkovremennoy prochnosti LVL pri smyatii treugol'nym shtampom* [Research of the short-term strength of LVL in compression by a triangular plate]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2014, no. 1 (42), pp. 28–33.

17. Glukhikh V. N., Chernykh A. G., Danilov E. V. *Derevyannyye konstruktivnyye s primeneniem kogtevykh shayb i uchetom nachal'nykh napryazheniy drevesiny* [Wooden structures using claw washers and taking into account the initial stresses of wood]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018, 284 p.

18. Tsiulin E. Yu., Shmidt A. B. *Chislennoe modelirovanie modulya uprugosti LVL s razlichnym sochetaniem vzaimno perpendikulyarnykh sloev shpony* [Numerical simulation of the LVL elastic modulus with a different combination of mutually perpendicular veneer layers]. *Lesnoy zhurnal – Forest Journal*, 2018, no. 6 (366), pp. 138–148.

19. Bamberg C. R. *Lateral Movement of Unbraced Wood Composite I-Joists Exposed to Dynamic Walking Loads*. MSc thesis. USA, Virginia Polytechnic Institute Publ., 2009, 90 p.

20. Clouston P. *The Tsai-Wu Strength Theory for Douglas-fir laminated veneer*. MSc thesis. USA, University of British Columbia Publ., 1995, 120 p.

21. Morrissey G. C., Dinehart D. W., Dunn W. G. *Wood I-Joists with Excessive Web Openings: An Experimental and Analytical Investigation*. *Journal of Structural Engineering*, 2009, June, pp. 655–665.

22. Verwer M. A. *Effect of manufacturing temperature of laminated veneer lumber on duration of load behavior*. MSc thesis. USA, Washington State University Publ., 2002, 561 p.