

УДК 694.14

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ВКЛЕЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ, УСТАНОВЛЕННЫХ В ЛВЛ БРУС С УЧЕТОМ ПРОЧНОСТИ ПРИ СКАЛЫВАНИИ

Асп. Е. А. Распопов

АНАЛІЗ МІЦНОСТІ ВКЛЕЄНИХ СТЕРЖНІВ, УСТАНОВЛЕНИХ У ЛВЛ БРУС З УРАХУВАННЯМ МІЦНОСТІ ПРИ СКОЛЮВАННІ

Асп. Є. А. Распопов

ANALYSE OF STRENGTH GLUED-IN STEEL RODS INSTALLED IN LVL BY TAKING INTO ACCOUNT STRENGTH BY SHERE

PhD-student I. A. Raspopov

Вклеенные стержни как эффективный метод выполнения жестких стыков деревянных конструкций используются в соединениях элементов из новых древесных материалов, в том числе на основе шпона. Шпоновый брус ЛВЛ имеет высокие показатели прочности и требует особого подхода при оценке методов расчета и проектирования известных методов выполнения узловых соединений, в том числе соединений на вклеенных стержнях. Выполненный в данной статье анализ прочности вклеенных стержней рассматривается с учетом прочности ЛВЛ бруса при скалывании, как основного критерия разрушения данного типа соединений. Также при определении прочности ЛВЛ при скалывании вдоль волокон рассматривались различные типы и размеры образцов с целью выявления образца, наиболее точно показывающего прочность ЛВЛ для данного вида соединения.

Сравнение результатов испытаний данного вида соединений в ЛВЛ брус представляется важным и необходимым при оценке не только прочности соединения, но и для выполнения проектных винтовых усилений для достижения вязкого разрушения. Слоистая шпоновая структура ЛВЛ бруса с однонаправленным расположением шпона отражается на характере разрушения образцов, отличающегося от результатов разрушения вклеенных стержней в клееной древесине. Характерным для ЛВЛ бруса стало разрушение по древесине с овализацией вокруг стержня.

Проведенный сравнительный анализ экспериментальных величин скалывания полученных при испытании образцов и соединений является приближенным. При разрушении образцов ЛВЛ бруса рассматривается плоское напряженное состояние, которому соответствует разрушение практически по ровной линии вдоль волокон исследуемого образца. Однако при разрушении вклеенных стержней напряженное состояние древесины локализуется вокруг стержня и имеет замкнутую криволинейную траекторию разрушения, как правило, конической формы по длине стержня.

Ключевые слова: клееный шпоновый брус (ЛВЛ), вклеенные стержни, осевое выдергивание, Ultralam – R, усиление винтами.

Вклеєні стержні як ефективний засіб для виконання жорстких стиків дерев'яних конструкцій використовуються у з'єднаннях елементів з нових матеріалів на основі деревини, в тому числі на основі шпону. Шпоновий брус ЛВЛ має високі показники міцності і

потребує особливого підходу при оцінці сучасних методів розрахунку і проектування відомих методів виконання вузлових з'єднань, у тому числі з'єднань на клеєних стержнях. Виконаний у даній статті аналіз міцності клеєних стержнів розглядається з урахуванням міцності ЛВЛ бруса при сколюванні вздовж волокон, як основного критерію руйнування цього типу з'єднань. Також при визначенні міцності ЛВЛ на сколювання вздовж волокон розглядалися різні типи та розміри зразків з метою виявлення зразка, що найбільш точно показує міцність ЛВЛ для даного виду з'єднання.

Порівняння результатів випробувань даного виду з'єднань у ЛВЛ брусі є важливим і необхідним при оцінці не тільки міцності з'єднання, але і для виконання проектних гвинтових підсилень для досягнення в'язкого руйнування. Шарувата шпонова структура ЛВЛ бруса з односпрямованим розташуванням шпону відображається на характері руйнування зразків і відрізняється від результатів руйнування клеєних стержнів у клеєній деревині. Характерним для ЛВЛ бруса стало руйнування по деревині з овалізацією навколо стержня.

Проведений порівняльний аналіз експериментальних величин сколювання вздовж волокон отриманих при випробуванні зразків і з'єднань є наближеним. При руйнуванні зразків ЛВЛ бруса розглядається плоский напружений стан, якому відповідає руйнування практично по рівній лінії уздовж волокон досліджуваного зразка. Однак при руйнуванні клеєних стержнів напружений стан деревини локалізується навколо стержня і має замкнуту криволінійну траєкторію руйнування, як правило, конічної форми по довжині стержня.

Ключові слова: клеєний шпоновий брус (ЛВЛ), клеєні стержні, осьове висмикування, Ultralam – R, підсилення гвинтами.

The glued-in steel rods as an effective method for performing rigid joints of timber structures are used in joints of elements from new wood based materials, including veneer based. The LVL elements has high strength characteristics and requires a special approach when evaluating methods for calculating and designing known methods for making nodal connections, including joints on glued rods. The analysis of the strength of pasted rods performed in this article is considered taking into account the strength of the beam of lamellar timber during shearing as the main criterion for the destruction of this type of joint. Also, in determining strength of LVL for shearing along the fibers, various types and sizes of the samples were considered with aim of identify the sample most accurately showing the strength of LVL for this type of joint.

Comparison of the test results of this type of joints in the LVL beam is important and necessary in assessing not only the strength of the joint, but also for the implementation of design screw reinforcements to achieve ductile failure mode. The laminated veneer structure of LVL with a unidirectional arrangement of veneers reflects the nature of the destruction of the specimens, which differs from the results of the destruction of glued-in steel rods in the glued laminated timber. Characteristic for LVL timber was the destruction of the wood with ovalization around the rod.

The comparative analysis of the experimental values of the specimens and joints obtained during testing is approximate. When the LVL specimens are destroyed, a plane stress state is considered, which corresponds to fracture along an even line along the grains of the test sample. However, when the pasted strings are broken, the stress state of the wood is localized around the rod and has a closed curvilinear trajectory of fracture, usually conical in shape along the length of the rod.

Keywords: Laminated veneer lumber (LVL), glued-in steel rods, pull-pull tests, Ultralam type R, screws reinforcement.

Введение. Шпоновый брус LVL (Laminated Veneer Lumber, далее – ЛВЛ) производится как с однонаправленным, так и со взаимно перпендикулярным расположением шпона в смежных слоях. Чередование поперечных слоев шпона может выполняться через один или несколько продольных слоев шпона. Наиболее известна на европейском рынке продукция производителя ЛВЛ торговой марки Kerto, которая довольно широко исследована и имеет несколько другие прочностные и упругие характеристики, чем ЛВЛ марки Ultralam (Россия, г. Торжок), поскольку использована древесина северных регионов России. Около 7 лет назад был разработан новый вид ЛВЛ бруса на основе шпона бука, который имеет показатели прочности и жесткости, намного превышающие показатели ЛВЛ из шпона древесины хвойных пород.

Анализ последних исследований и публикаций. Применение клеенных стержней в соединениях деревянных конструкций в странах Европы, таких как Германия, Австрия и Швейцария, имеет положительный опыт, и указания относительно их расчета и установки содержатся в национальных нормативных документах по проектированию деревянных конструкций. В Еврокоде-5 (EN 1995-1-1) отсутствует данный вид соединения, поскольку сложно выполнить проверку качества клейки стержней. Однако проект второй части Еврокода-5 (EN 1995-2) по проектированию деревянных мостов [1] в приложении С содержит ряд положений по выполнению соединений на клеенных стальных стержнях. Также выполнение данного типа соединения конструкций требует больших трудозатрат и имеет более высокую стоимость, чем установка винтов различных типов. Также сложность контроля качества клейки стержней затрудняет их частое применение зарубежными коллегами. Автором данного типа соединений среди коллег из

Европейских стран принято считать Н. Riberholt [2], поскольку первая работа проф. С. Б. Турковского [3] на английском языке была опубликована на год позже. В отечественных публикациях соединения на клеенных стержнях предложены в середине 80-х годов. Уже в 1986 году подобные решения были осуществлены на электрофизическом комплексе ГИИТ-12-30, эксплуатируемые на открытом воздухе. За последние 10 лет были предприняты существенные попытки систематизации и анализа различных методов установки и расчета клеенных стержней различными странами (см. технический отчет Mislav Stepinac [4], выполненный в рамках комитета COST Action FP1004 “Enhancement mechanical properties of timber, engineered wood products and timber structures” и работы Broughton J. G. [5, 6]). Также в протоколах комитета COST Action FP1402 проводится работа в направлении систематизации и регулирования технологических параметров установки клеенных стержней. В проекте новой редакции Еврокода-5, которая выйдет в 2022 году, планируется интегрирование основных положений по расчету клеенных стержней для различных материалов на основе древесины, включая ЛВЛ брус различных типов.

Определение цели и задачи исследования. Целью работы является анализ экспериментальных данных, полученных при испытании клеенных стержней с характерным разрушением скалывания древесины вокруг клееного стержня вдоль волокон с результатами испытаний образцов на скалывание.

Задачей исследования является определение несущей способности клеенных стержней вдоль волокон в ЛВЛ и анализ характера разрушения для корректировки существующей методики расчета данного вида соединений, применяемого в соединениях элементов из клееной древесины.

Основная часть исследований.

Статические испытания на выдергивание клеенных стержней выполнялись из образцов ЛВЛ с однонаправленным шпоном марки Ultralam типа R. Поперечное сечение стержней ЛВЛ элементов составляла 75*75 мм, а длина – 500 мм. Глубина клейки стержней была принята 180 мм с величиной отверстия 18 мм. Диаметр одиночных клеенных стержней был принят 14 мм, а диаметр стержней, установленных по 2 в каждом торце, был принят 16 мм. Выдергивание стержней выполнялось путем нагружения элемента с двусторонними клеенными стержнями на равную глубину клейки (рис. 1). Класс прочности стали стальных шпилек – 5.8. Зарубежные коллеги используют класс

прочности стали клеенных шпилек, как правило, 8.8 или 10.9. Для клейки стержней использовался двухкомпонентный эпоксидный клей на базе смолы ЭД-20. Испытания клеенных стержней были выполнены в 2015–2016 годах, как части комплексных исследований ЛВЛ типа R на статические нагружения для определения прочностных и упругих характеристик при сжатии под различными углами. Кроме этого, выполнены испытания балок с соединением на клеенных стержнях, а также образцов на выдергивание клеенных стержней и образцов на скалывание, изложенные в данной статье для проведения анализа прочности стержней, большинство которых разрушалось по скалыванию.

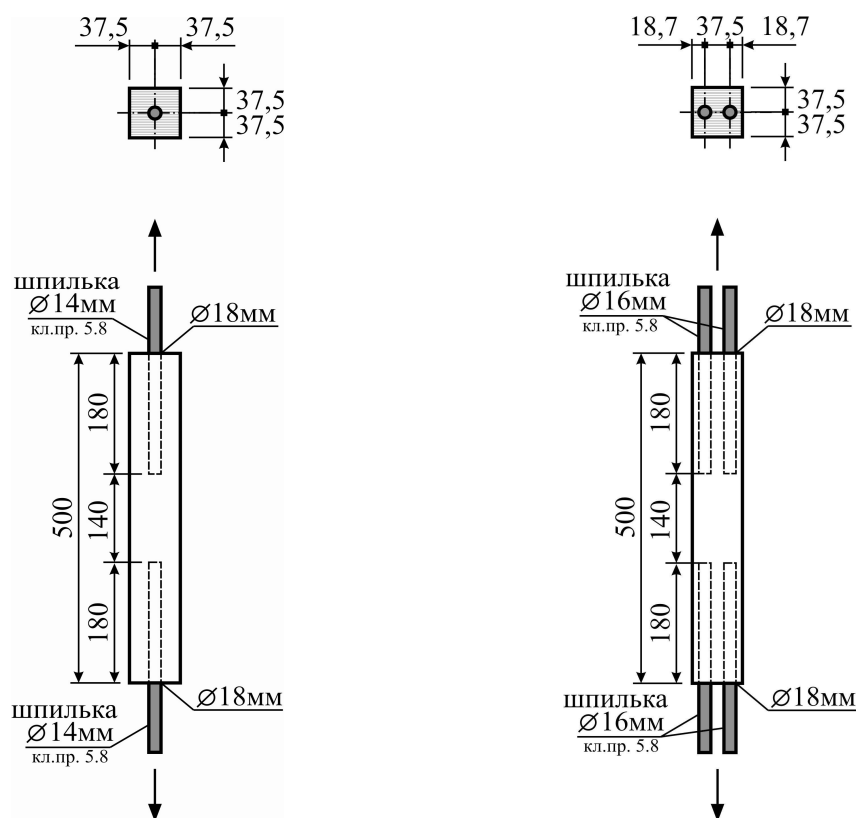


Рис. 1. Схема проведения испытания и геометрические параметры образцов

Для стержней, нагруженных вдоль оси, принятые расстояния между стержнями и от центра стержня к боковым граням элемента в поперечном сечении

меньше величин, рекомендуемых для клеивания стержней в цельную или клееную древесину, согласно технических заключений и нормативных документов различных

стран, которые содержат соответствующие указания (табл. 1): СП 64.13330.2017 (Россия), DIN 1052:2008-12 (Германия),

В 1995-1-1 (Австрия), (Швейцария).

SIA 265:2012

Таблица 1

Минимальные расстояния между осями вклеенных стержней и от осей к граням поперечного сечения элементов деревянных конструкций, согласно различных стандартов

Нормативы, технические заключения и публикации	Расстояние между осями стержней	Расстояние от оси стержня к грани
DIN EN 1995-1-1 [7]	5d	2,5d
В 1995-1-1 [8]	5d	2,5d
Z-9.1-791 [9]	3,5d	1,75d
Z-9.1-791 [10]	3,75d	1,875d
СП 64.13330.2017 [11]	3d	2d
New Zealand	2d	1,5d (не для скалывания) 2,5d
Riberholt	1,5d	2d
Steiger et al.	4d	2,3d

Также, в рамках испытаний по определению прочности соединений ЛВЛ на вклеенных стержнях, проводились испытания на скалывание образцов трех типов (рис. 2) толщиной 75 мм торговой

марки Ultralam тип R с однонаправленным расположением шпона древесины хвойных пород. Основные статистические параметры результатов испытаний трех серий образцов показаны в табл. 2.

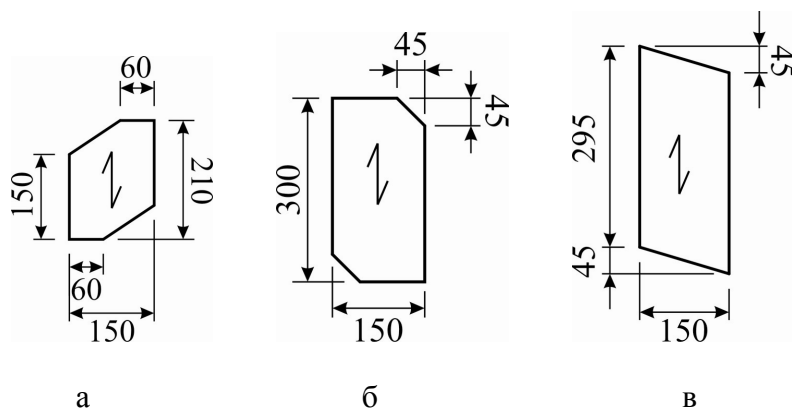


Рис. 2. Виды и размеры образцов, использованных при испытаниях: а – тип А; б – тип Б; в – тип В; г – образцы после разрушения

Нагружение образцов выполнялось согласно требованиям стандарта EN 408:2010, и период нагружения состав-

лял интервал времени 300 ± 120 секунд до разрушения образца.

Обсуждение результатов. Схема разрушения образцов имеет типичный хрупкий характер, сопровождающийся выдергиванием стержня с частью

древесины (рис. 3) и раскалыванием торцов элементов древесины, в которые вклеены стальные стержни.

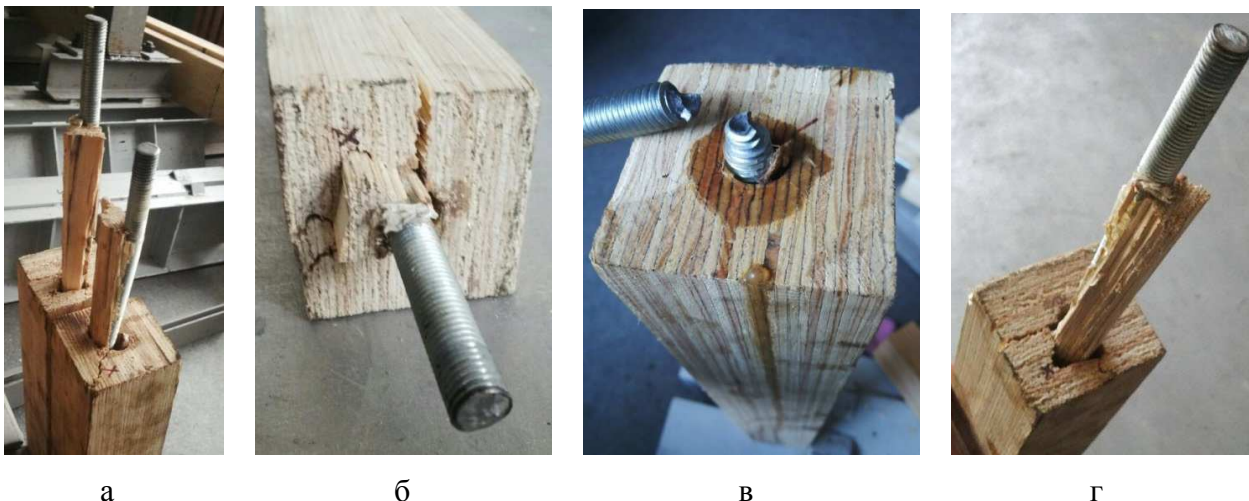


Рис. 3. Схема разрушения образцов

Результат разрушения соединения с разрывом стального стержня (рис. 3, в) еще раз доказывает эффективность вклеенных стержней как метода выполнения жестких стыков элементов не только из клееной древесины, но и элементов из ЛВЛ.

Прочность древесины и древесных материалов при скалывании или сдвиге является важной прочностной характеристикой как для изгибаемых элементов при оценке прочности в опорных зонах балок, так и при анализе прочности различных видов соединений. Методы испытания по грани плитных древесных материалов, к которым относится шпоновый брус ЛВЛ, выполняются, как и для цельной древесины, согласно EN 408 [12] (рис. 4, а), а по пласти – согласно EN 789 [13] (см. рис. 4, б). Данное разделение методов испытаний указано в стандарте EN 14374 [14], который устанавливает методы определения прочностных и упругих характеристик ЛВЛ при различных видах напряженных состояний.

Схема испытаний на скалывание согласно EN 789, очевидно, является более

рациональной для древесных плитных материалов с толщиной не более 40 мм, к которым относятся ориентированные стружечные плиты (ОСП или OSB), древесно-волоконистые плиты (ДВП, MDF), фанера, древесно-слоистые пластики, а также древесно-стружечные плиты (ДСП). Толщина шпонового бруса или ЛВЛ при производстве, как правило, не превышает 106 мм, хотя может сращиваться по пласти в заводских условиях для достижения больших толщин.

При испытаниях по схеме, показанной на рис. 4, б, образцы из ЛВЛ можно не укреплять вдоль вертикальных кромок, как это предлагается при испытании на скалывание образцов из поперечной клееной древесины (ПКД или CLT), согласно EN 16351:2015 [15]. При определении прочности на скалывание клееной древесины иногда используется балочный метод, где фиксируется удлинение диагоналей квадратов в опорных частях балки, согласно EN 408. Наблюдаемые при испытаниях образцов на скалывание схемы разрушения образцов имели типичный для

данного вида напруженого состояния хрупкий характер разрушений. Разрушение образцов происходило по линии, практически параллельной направлению волокон, без значительных отклонений, поскольку образцы данного типа ЛВЛ

бруса имели однонаправленное расположение шпона. Характеристическое значение прочности для каждой серии образцов (табл. 2) определялось в соответствии с требованиями новой редакции стандарта EN 14358:2016.

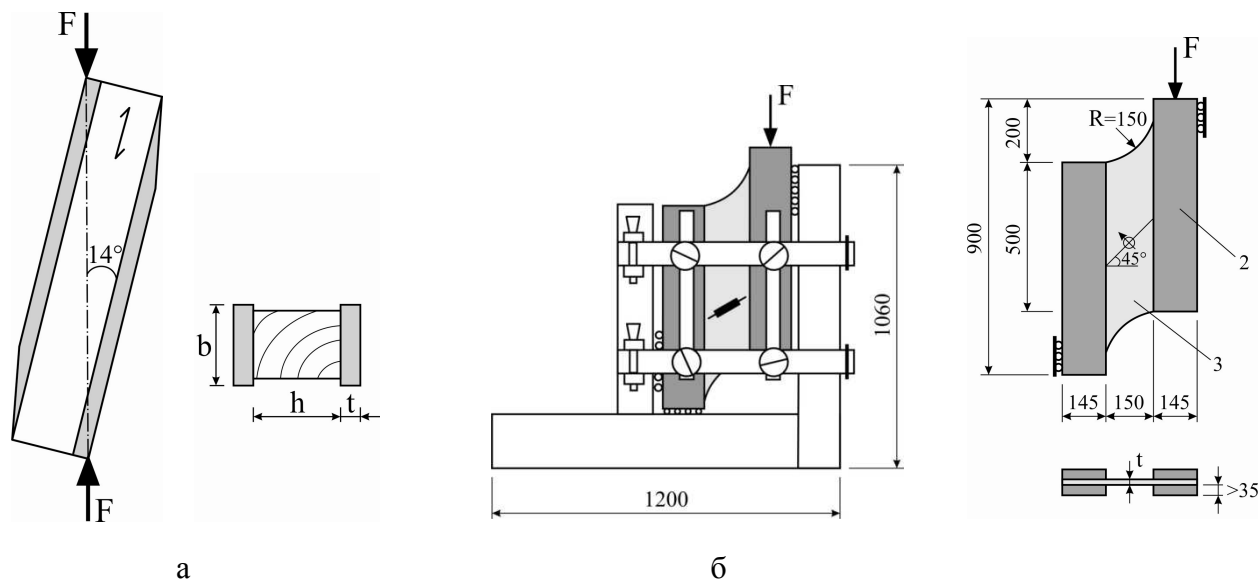


Рис. 4. Схема испытания плитных древесных материалов при скалывании грани и по пласти: а – испытание по грани EN 408; б – испытание по пласти EN 789

Таблица 2

Результаты испытаний серий образцов на скалывание

Серии образцов	Количество образцов	Минимальное значение (N/mm ²)	Среднее значение (N/mm ²)	Максимальное значение (N/mm ²)	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Характеристическое значение прочности (N/mm ²)
тип А	11	3,73	5,15	7,11	1,05	0,2	1,13
тип Б	8	6,81	9,64	11,5	1,77	0,18	6,07
тип В	14	3,62	7,32	13,8	3,09	0,42	3,03

Согласно СП64.13330.2017 несущая способность стержня, вклеенного вдоль волокон, определяется по формуле:

$$T = R_{ск} \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot K_c \quad (1)$$

Исходя из (1) определяем условную прочность на скалывание:

$$R_{ск} = T / (\pi \cdot d \cdot l \cdot K_c) \quad (2)$$

Результаты сравнительной оценки полученных данных скалывания древесины в образцах с результатами испытаний вклеенных стержней, разрушение которых происходило путем скалывания древесины вокруг вклеенного стержня, приведены в табл. 3.

Таблиця 3

Условное временное сопротивление при скалывании для образцов с одним вклеенным стержнем

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Условное временное сопротивление срезу (N/mm ²)	5.03	4.60	5.38	5.12	5.20	4.77	4.86	5.20	5.90	5.38

Выводы. Результаты анализа испытаний вклеенных стержней, установленных в элементы из шпонового бруса (ЛВЛ) Ultralam типа R при осевом растяжении, позволяют считать возможным использовать такие решения в несущих конструкциях различного типа. Характер разрушений образцов подтверждает необходимость выполнения усиления торцов элементов с вклеенными стержнями для увеличения прочности соединения и достижения вязкого разрушения. Разрушения армирующего стального стержня класса прочности 5.8 подтверждают рекомендации ученых Западной Европы использовать для вклеенных стержней класс прочности минимум 8.8.

Также, при анализе условного временного сопротивления при скалывании из условия прочности вклеенного стержня

на выдергивание, можно считать, что образец на скалывание по типу А наиболее точно показывает прочность материала при скалывании для данного соединения.

Хрупкое разрушение при скалывании как экспериментальных образцов, так и элементов конструкций является не желательным, а иногда не допустимым видом разрушения. Решение данного вопроса выполняется путем установки винтов, препятствующих развитию трещин вдоль волокон, в том числе и в соединениях с разрушением при скалывании. Усиление винтами вклеенных стержней представляется необходимым и эффективным методом усиления, который не только увеличивает прочность соединения, но также делает его разрушение вязким, что необходимо для узловых соединений деревянных конструкций.

Список использованных источников

1. European Committee for Standardization CEN (2003) prEN 1995-2 Eurocode 5—design of timber structures, Part 2: Bridges. Final Project Team draft (Stage 34). Document CEN/TC 250/SC 5: N 198. CEN, Brussels.
2. Riberholt, H. (1988) Glued bolts in glulam—proposals for CIB code. Paper 1-7-2. In: Proceedings of the 21st conference of CIB-W18, Parksville, Canada.
3. Turkovsky, S. B (1989) Designing of wood glued structures joint on glued-in bars. Paper 22-7-13. In: Proceedings of the 22nd conference of CIB-W18, Berlin, German Democratic Republic.
4. Stepinac, M. Joints in beech-LVL timber frames. Report of a short term scientific mission COST Action FP1004 “Enhance mechanical properties of timber, engineered wood products and timber structures” (2014). [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://costfp1004.holz.wzw.tum.de/fileadmin/tu/wz/costfp1004/2012_05_STSM_report_Stepinac_Mislav.pdf – Назв. с экрана. – (Дата обращения 01.12.2016).

5. Broughton J. G., Hutchinson AR (2001a) Pull-out behaviour of steel rods bonded into timber. *Mater Struct J* 34(2): 100–109.
6. Broughton J. G., Hutchinson AR (2001b) Adhesive systems for structural connections in timber. *Int J Adhes Adhes* 21(3):177–186.
7. Serrano E, Steiger R, Lavischi P (2008) Glued-in rods. In: *Bonding of timber—core document of the COST Action E34. Lignovisionen Issue 18*, pp 31–39.
8. COST Action E13 Wood Adhesion and Glued Products, Working Group 2: Glued Wood Products (2002) State of the Art : Report [Электронный ресурс] / [Editors: Carl Johan Johansson, Tony Pizzi, Marc Van Leemput]. – Режим доступа: <http://users.teilar.gr/~mantanis/E13-Glued-Products.pdf> – Назв. с экрана. – (Дата обращения 01.12.2016).
9. Meyer, N., Zugbeanspruchte Verbindungen in Buchenfurnierschichtholz. *Karlsruher Tage 2016 - Holzbau: Forschung für die Praxis*, s.1-18, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2016.
10. Larsen HJ (2011) The sad story of glued-in bolts in Eurocode 5. Essay 4.3, CIB-W18, A review of meeting 1-43.
11. GIROD- Glued in Rods for Timber Structures, SP Rapport 2002:26, Building Technology, Borås 2002.
12. EN 408:2010 Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium.
13. EN 789:2004 Timber Structures – Test Methods – Determination of Mechanical Properties of Wood Based Panels, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.
14. EN 14374:2004 Timber structures - Structural laminated veneer lumber – Requirements. European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium.
15. EN 16351:2015 Timber structures - Cross laminated timber – Requirements. European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium.
16. Tlustochowicz G, Serrano E, Steiger R (2011) State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods. *Material and Structures* 44:997-1020.
17. Stepinac Mislav. Comparison of design rules for glued-in rods and design rule proposal for implementation in European standards [Электронный ресурс] / [Stepinac, Mislav; Hunger, Frank; Tomasi, Roberto; Serrano, Erik; Rajčić, Vlatka; van de Kuilen, Jan-Willem] // CIB-W18 (2013). – Режим доступа: http://costfp1004.holz.wzw.tum.de/fileadmin/tu/wz/costfp1004/CIB_Paper_Stepinac_et_al_-_46-07-10_cору.pdf – Назв. с экрана. – (Дата обращения 01.12.2016).
18. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-791 vom 17. Januar 2012: Verbindungen mit faserparallel in Brettschichtholz eingeklebten Stahlstäben. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
19. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-778 vom 31. Oktober 2012: 2K-EPKlebstoff GSA-Harz und GSA-Härter für das Einkleben von Stahlstäben in Holzbaustoffe. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
20. СП 64.13330.2017 Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция [Текст] : СНиП II-25-80, Минрегион РФ. – М., 2017. – 97 с.
21. Harris, S. Fire Resistance of Epoxy-grouted Steel Rod Connections in Laminated Veneer Lumber (LVL), Fire Engineering Research Report 04/7, 2004.
22. ÖN B 1995-1-1:2015, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Austria, 2015.

23. DIN EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1 mit NA (2013): Allgemeines – Allgemeine Regeln für den Hochbau. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010.

Распопов Євген Анатолійович, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. А. М. Бекетова. Тел.: (050) 107-25-92. E-mail: raspovkm@gmail.com.

Распопов Евгений Анатольевич, аспирант кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. М. Бекетова. Тел.: (050) 107-25-92. E-mail: raspovkm@gmail.com.

Raspopov Ievgenii, PhD-student of building constructions O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (050) 107-25-92. E-mail: raspovkm@gmail.com.

Статтю прийнято 27.03.2018 р.
