

УДК 694.14

УЗЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЛВЛ БРУСА НА ВКЛЕЕННЫХ СТЕРЖНЯХ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВСТАВКОЙ

ВУЗЛОВІ З'ЄДНАННЯ ЛВЛ БРУСУ НА ВКЛЕЄНИХ СТЕРЖНЯХ З МЕТАЛЕВОЮ ВСТАВКОЮ

JOINTS OF LVL ELEMENTS WITH GLUED-IN STEEL RODS AND METAL CONNECTOR

Бідаков А.М., к.т.н., доц. (Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. м. Харків)

Распопов Є.А., асп., Страшко Б.О., асп. (Харківський національний університет будівництва та архітектури. м. Харків)

Бідаков А.Н., к.т.н., доц. (Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.М. Бекетова. г. Харьков)

Распопов Е.А., асп., Страшко Б.А., асп. (Харьковский национальный университет строительства и архитектуры г. Харьков)

Bidakov A.M., candidate of technical sciences, docent (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)

Raspopov I.A., postgraduate., Strashko B.O., postgraduate (Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture)

Узловые соединения ЛВЛ бруса на клееных стержнях с металлическими стыковыми элементами являются полу-жесткими и требует учета податливости. В статье приведен анализ результатов испытаний балок с металлическим узлом на клееных стержнях и цельных балок. Предложено модель разрушения стержней, учет которой позволяет снизить расстояния между осями стержней и от оси стержня до граней в поперечном сечении балки на основании анализа выполненных натурных исследований.

Вузлові з'єднання ЛВЛ бруса на клеєних стержнях з металевими стиковими елементами є напів-жорсткими та потребують врахування підатливості. У статті наведено аналіз результатів випробувань балок з металевим вузлом на клеєних стержнях та цільних балок. Запропоновано модель руйнування стержнів, врахування якої дозволяє зниження відстані між осями стержнів та від осі стержня до граней у поперечному перерізі балки на основі аналізу виконаних натурних випробувань.

The joints of the LVL elements with glued-in steel rods and metal connectors are considered as semi-rigid connection and requires taking of account compliance. In this study gives an analysis of the results of tests LVL beams with a metal connector on glued-in steel rods and solid LVL beams. Model of the destruction of rods in LVL is proposed, and allows for reduction the distance between the axis of the rods and from the axis of the rod to the edges in the cross section of the beam. This proposing is based on the analysis of the carried out investigations.

Ключові слова:

Вклеені стержні, напів- жорстке з'єднання, шпоновий брус ЛВЛ (Ultralam – R), відстань між стержнями, модель руйнування, двостороння фіксація вузла.

Вклееные стержни, полу-жесткое соединение, шпоновый брус ЛВЛ (Ultralam – R), расстояние между стержнями, модель разрушения, двусторонняя фиксация узла.

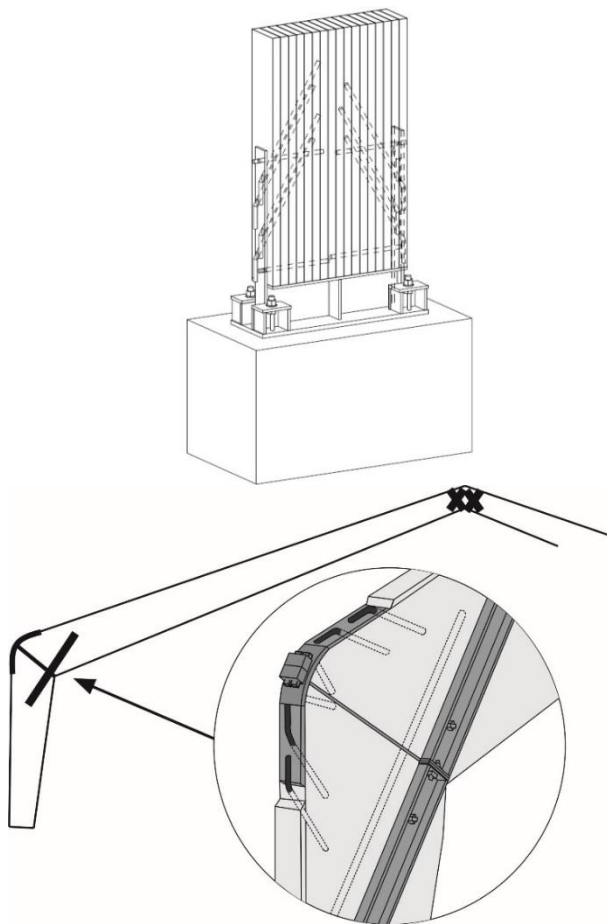
glued-in steel rods, semi-rigid connection, laminated veneer lumber (Ultralam – R), axes and edge distance, model of rupture, two side fixing.

Введение

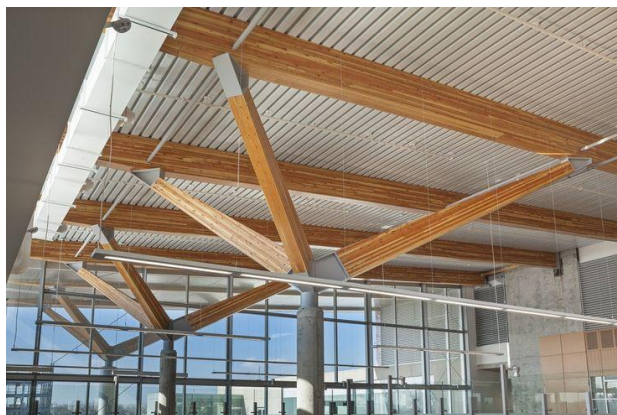
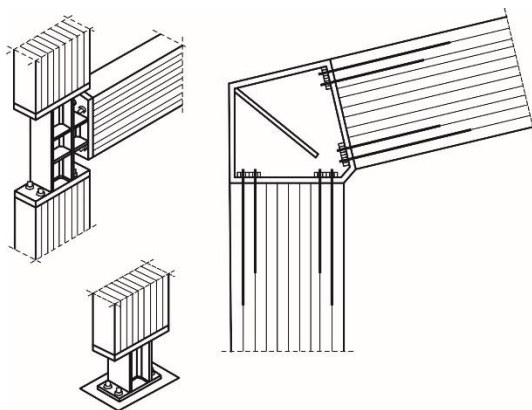
Шпоновый брус или ЛВЛ на основе древесины хвойных пород производимый компаниями Ultralam и Kerto широко распространен на строительном рынке деревянного домостроения. Благодаря высоким прочностным показателям и стоимости, незначительно превышающей стоимость клееной древесины, данный материал все больше привлекает внимание не только заказчиков, но и проектировщиков. Шпоновая структура ЛВЛ бруса требует выполнения дополнительных испытаний классических видов соединений деревянных конструкций, которые часто применяются для элементов из клееной древесины. Характер поведения и разрушения ЛВЛ при натурных испытаниях элементов конструкций узлов отличается от клееной древесины и требует внесения корректировки диаметров предварительно сверленных отверстий, расстояний между нагельми вдоль и поперек волокон. Особенности работы ЛВЛ бруса с использованием вклеенных стержней также вызывают большой исследовательский интерес среди коллег из разных стран, среди которых М. Stepinac, R. Steiger, E. Gehri, A. Buchanan, E. Serrano, N. Meyer, и другие. В странах СНГ вклеенные стержни как жесткое соединение деревянных конструкций является неотъемлемым инженерным решением узлов при проектировании каркасов большепролетных зданий. В отечественной практике использование вклеенных стержней дешевле, чем винтовые соединения, которые популярны в европейских странах и являются альтернативой для вклеенных стержней.

Соединение деревянных конструкций на вклеенных стержнях возможно в двух вариантах: соединение древесины с древесиной или с приваркой к

металлическому элементу вклеенных стержней (рис. 1-а) и соединение древесины с металлической вставкой на болтах (рис. 1-б).



а) жесткое соединение опорного узла колонны с фундаментом и карнизного узла трехшарнирной рамы



б) полужесткое соединение опорного и карнизного узлов

Рис.1 Жесткие и полужесткие соединения на клееных стержнях

В зарубежной практике эти варианты называются как жесткое соединение и полужесткое соединение. Первый вариант соединения предусматривает изготовление узлов, как правило, в заводских условиях, которые не разборные. Второй вариант узлов или полужесткие соединения все чаще применяются в комбинированных каркасах или сложных системах конструкций, где безметалльные решения невозможны.

Податливость болтовых соединений полужестких стыков деревянных конструкций на клееных стержнях состоит не только от деформаций болтовых соединений, но и от податливости самих клееных стержней, которая соответственно значительно меньше первой. Для наклонных

вклееных стержней согласно норм России СП 64.13330.2017 [1] податливость составляет 0,001 мм/кН. Известны методы учета податливость нагельных соединений в таких деревянных конструкциях как фермы, вследствие большого количества узловых примыканий элементов сквозной конструкции, которые оказывают значительное влияние на величину суммарной деформации конструкции или прогиба. Особенно важно определение прогиба для ферм с заниженной высотой. В работе проф. Серова Е.Н. [8] указывается, что при наличии конкретных нормативных величин податливости соединений и произвольном уровне использования их несущей способности, определение прогиба, вызванное податливостью соединений с учетом действующих в них усилий следует определять по формуле:

$$f_{\text{п}} = f_{\text{п.н}} + f_{\text{п.в}} = \sum_1^{mk} \Delta_{\text{н}i} \frac{N_{\text{с}i}}{N_{\text{н.с}i}} + \sum_1^m \Delta_{\text{н}i} \frac{\sigma_{\text{с}mi}}{R_{\text{с}mi}^{\alpha} N_{\text{н.с}i}} \quad (1)$$

где:

$f_{\text{п.н}}$ – деформации податливости в растянутых соединениях нагелях;

$f_{\text{п.в}}$ – деформации податливости во врубках и упорах;

k – количество стыков на нагелях;

m – количество стыков на врубках и упорах;

$\Delta_{\text{н}i}$ – нормативное значение податливости i -го соединения при полном использовании его несущей способности;

$N_{\text{с}i}$ – действующее усилие в i -м соединении;

$N_{\text{н.с}i}$ – несущая способность i -го нагельного соединения;

$\sigma_{\text{с}mi}^{\alpha}$ – действующее напряжения смятия в i -м соединении;

$R_{\text{с}mi}^{\alpha}$ – расчетное сопротивление смятия в i -м соединении.

В пособии к СНИП по расчету деревянных конструкций [10] предложено определять перемещение узлов ферм с учетом податливости соединений по правилам строительной механики с введением приведенного модуля упругости (п. 6.29).

Материалы и методы

В 2016 году были проведены испытания узлового соединения на вклееных стержнях с металлической вставкой, установленного в середине балки из ЛВЛ бруса. На рис. 2 показана схема нагружения балок статической нагрузкой и места установки измерительных устройств для определения деформаций. Древесина балок – LVL брус с однонаправленным шпоном Ultralam (тип R). Испытания узла стали ключевым и завершающим логическим этапом цикла исследований ЛВЛ бруса [7, 9], поскольку для полного анализа работы узла были выполнены испытания прочностных и упругих характеристик при сжатии под различными углами, испытание образцов на скалывание и испытания образцов на выдергивание одиночных вклееных стержней.

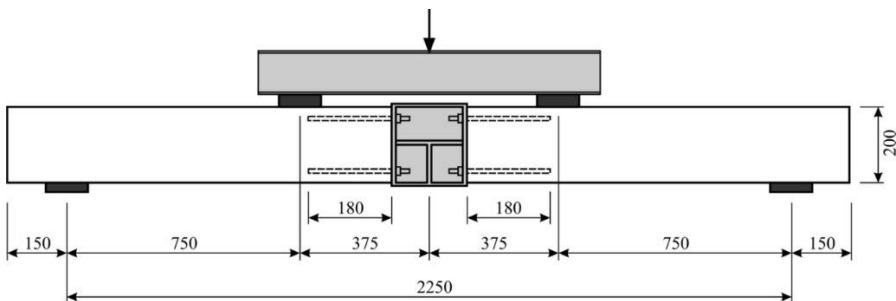
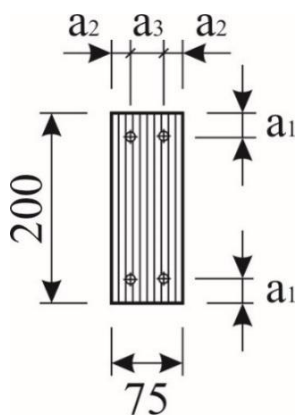


Рис. 2 Схема нагружения балок с металлической вставкой

Испытывались балки с поперечным сечением 75x200 мм, пролетом 2,25 м с узлом расположенным в середине балки, где в первом варианте в верхней и нижней части были установлены шпильки М16. Второй тип балок отличался от первого тем, что в верхней части поперечного сечения были вклеены шпильки М10, а в нижней - М16. Также испытывались цельные балки без узлового соединения. Класс прочности стали шпилек 5.8. Клеевое соединение на основе смолы ЭД-20. Глубина вклейки составляла 180 мм и диаметр всех отверстий выполнялся на 2 мм больше диаметра вклеиваемого стержня. Расстояния между осями стержней во всех сечениях было принято одинаковое (рис. 3).

Испытания балок проводилось путём статического нагружения их домкратом 25 т через траверсу, распределяющую нагрузку на 2 точки в третях пролёта. Модель была раскреплена из плоскости на опорах и в местах приложения нагрузки. Перед испытанием каждая балка нагружалась на 1 т и полностью разгружалась, после чего подтягивались все гайки в соединении. Шаг нагружения 1 т, с выдержкой нагрузки на каждом шаге 2 мин.

Все балки доводились до разрушения. Величины перемещений замерялись на опорах и в пролете с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм.



а) схема расстановки стержней



б) вид разрушения соединений

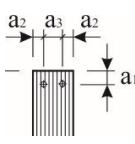
Рис. 3 Схема установки стержней и вид узлового соединения после разрушения

Обсуждение результатов

Схема разрушения образцов имеет типичный хрупкий характер в виде выдергивания стержней покрытых слоем древесины или клиновидное скалывание древесины вокруг стержней. При выполнении сверления отверстий было принято межосевое расстояние и расстояние к граням меньше, чем рекомендуют стандарты различных европейских стран и европейских технических заключений [1-5], как показано в таблице 1, где d -диаметр клееного стержня. Учитывая результаты проведенных испытаний одиночных клееных стержней при осевом нагружении в образцах ЛВЛ бруса с однонаправленным шпоном отмечено, что схема разрушения имеет характерное раскалывание и небольшую область выкалываемой древесины, что детально описано в публикации [7]. Кроме одиночных клееных стержней также были испытаны образцы с двумя клееными стержнями с межосевым расстоянием менее рекомендованных. Например, согласно норм России по проектированию деревянных конструкций СП64.13330.2017 [1] минимальное расстояние от граней пакета до оси стержня принимается не менее $2d$ и между осями стержней расстояние должно быть не менее $3d$.

Таблица 1

Расстояния между клееными стержнями установленных вдоль волокон, согласно нормативных документов различных стран и в проведенных испытаниях

	СП 64.13330.2017 (Россия) [1]	DIN 1052 DIN EN 1995-1-1/NA (Германия) [4]	ÖN B 1995-1-1:2015 (Австрия) [5]	Новая Зеландия [11]	R. Steiger (Швейцария) [12]	Z-9.1-791 [2]	Z-9.1-778 [3]	Эксперимент
a1	2d	2.5d	2.5d	2.5d	2.3d	1.75d	1.875d	1.16d (18.5 мм)
a2	2d	2.5d	2.5d	2.5d	2.3d	1.75d	1.875d	1.16d (18.5 мм)
a3	3d	5d	5d	2d	4d	3.5d	3.75d	2.37d (38 мм)

Сниженные межосевые расстояния клееных стержней и расстояния к граням не нарушили предполагаемую схему разрушения, поскольку область выкалываемой древесины не выходила на грани или наружные

кромки, как показано на рис. 4. Анализ характера разрушения стержней позволяет отметить, что происходит овализация области скальваемой древесины вокруг вклеенного стержня. Наибольшая часть древесины скальвается вдоль слоев шпона в поперечном сечении ЛВЛ бруса, где выкальвается область древесины не превышающая 4 слоев шпона общей шириной 13-15мм.

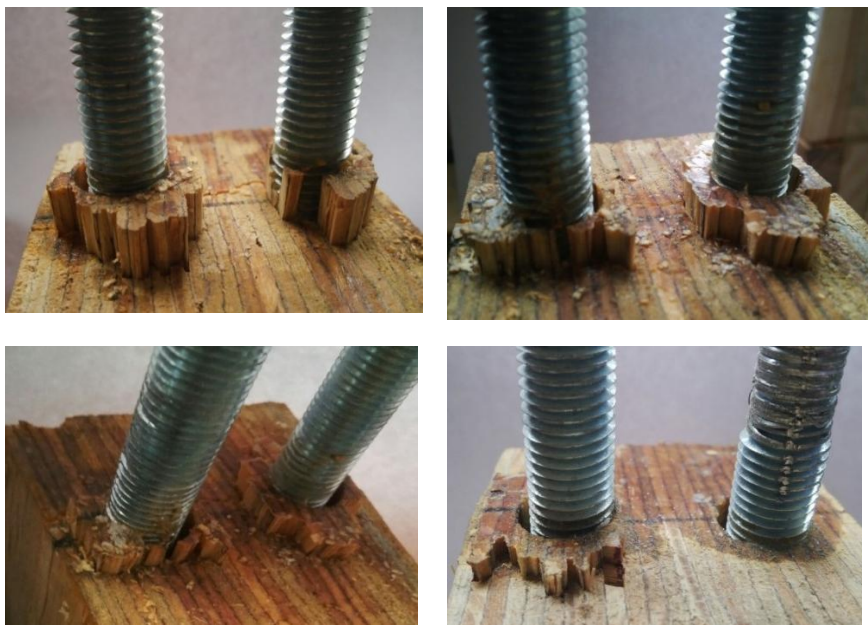


Рис. 4 Схема разрушения вклеенных стержней

Также были испытаны балки с незначительной модификацией узла, путем установки шпилек меньшего диаметра в верхней зоне поперечного сечения, которые в результате практически не повлияли на величину разрушающей нагрузки и деформативность балки в середине пролета, см. рис. 6. Верхние стержни не включались в работу на продавливание, а только фиксировали металлическую вставку, которая сминала верхнюю часть поперечного сечения балки. Также деформация в верхней зоне балки увеличивалась за счет обмятия резьбы стержней в верхней зоне. Уровень затяжки винтов не контролировался.

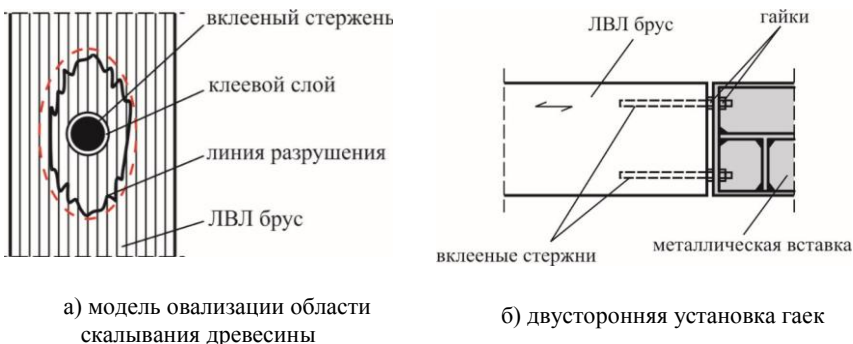


Рис. 5 Модель разрушения вклеенных стержней установленных вдоль волокон ЛВЛ бруса

При испытании 5 балок с металлической вставкой были отдельно проанализированы величины прогибов балок в трех точках: в середине пролета и в третях пролета балки, куда прикладывались сосредоточенные силы. Результаты деформаций балок в середине пролета на различных уровнях загрузки показаны на рис. 6, где видно сильное совпадение кривых деформаций балок b2, b3 и b4. Разрушающая нагрузка для балок наблюдалась в интервале от 48кН до 55кН. Расхождение кривых деформаций балок в середине пролета увеличивалось при нарастании нагрузки близкой к разрушающей.

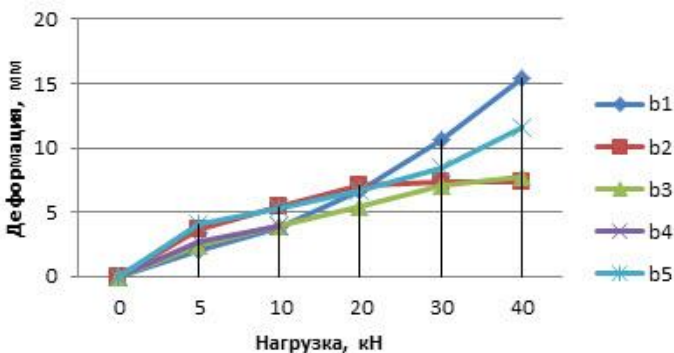
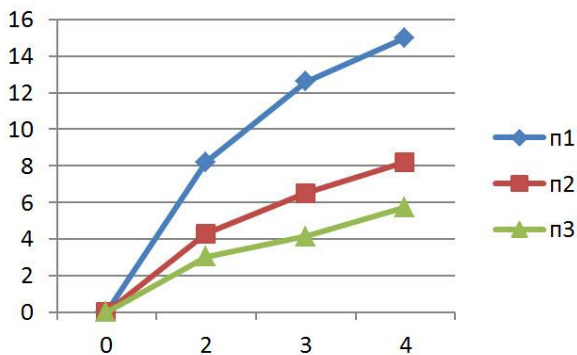


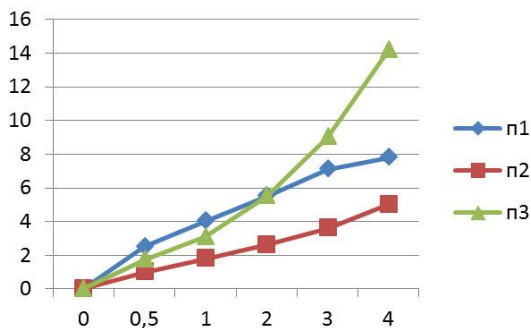
Рис. 6 Прогиб балок в середине пролета с металлическими вставками

Для сравнительной оценки деформативности балки со вставкой были выполнены испытания цельных балок без узла. Кривая п1 на рис. 7 показывает деформации в середине пролета балки, а кривые п2 и п3 деформации балки в третях пролета. На рис. 7-а) показаны деформации цельной балки с характерным значительным превышением деформации

или прогиба в середине пролета. Балка со вставкой на начальных этапах нагружения имела деформацию в пролете незначительно выше, чем в третях пролета, поскольку жесткость балки в узле выше из-за металлических элементов соединения и отсутствия податливости вклеенных стержней.



а)



б)

Рис. 7 Кривые прогиба цельной балки (а) и балки со вставкой (б)

Интенсивный прирост деформации в одной из боковых точек измерения иллюстрирует нарастание деформации состоящей из таких компонентов, как обмятие древесины в верхней части поперечного сечения балки контактирующего с металлической вставкой и растяжение вклеенного стержня. Последний компонент деформации подтверждался сложностями при раскручивании узла из-за удлинения стержня и соответственно увеличения шага резьбы.

Выводы.

Проведенные испытания узлового соединения на клееных стержнях с металлической вставкой и анализ полученных экспериментальных данных подтверждают возможность снижения межосевого расстояния между клееными стержнями до $2,4 \cdot d$ и расстояние к граням $1,2 \cdot d$, при этом, не допуская блоковую схему разрушения группы клееных стержней. Хрупкий характер разрушения с трещинообразованием вдоль и поперек шпона требует установки винтов или применения ЛВЛ бруса с поперечными слоями шпона. Сравнительный анализ деформативности балок на клееных стержнях с металлическим узлом подтверждает необходимость учета податливости данного полу-жесткого соединения.

Также очевидным и необходимым дополнением к рассмотренному виду соединения с металлической вставкой следует выполнять с двусторонней установкой гаек относительно металлической вставки, которые обеспечат включение в работу на продавливание клееных стержней расположенных в сжатой зоне изгибаемых элементов.

1. СП 64.13330.2017 Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80, Миррегион РФ, Москва, 2017. – 97с. **2.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-791 vom 17. Januar 2012: Verbindungen mit faserparallel in Brettschichtholz eingeklebten Stahlstäben. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin. **3.** 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. **4.** 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. **5.** EN 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. **6.** Standard SIA 265:2012 - Timber Structures. SIA Swiss Society of Engineers and Architects, Zurich, Switzerland, 2012. **7.** В.В. Фурсов, А.Н. Бидаков, Е.А. Распопов. Прочность клееных стержней на выдергивание при осевом нагружении установленных в LVL элементы с однонаправленным расположением шпона. // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського.– 2016. – Випуск 18. – С. 24-32. **8.** Е. Н. Серов, Ю. Д. Санников, А. Е. Серов. Проектирование деревянных конструкций. Учебное пособие под редакцией Е.Н. Серова.- Москва : Изд-во АСВ , 2011 г. — 536 стр. **9.** Бидаков, Е.А. Распопов. Прочностные и упругие характеристики шпонового бруса LVL при сжатии под различными углами к наклону волокон. Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2017. – Вип. 65. – С. 91-99. **10.** Пособие по проектированию деревянных конструкций. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с. **11.** New Zealand Design Guide (2007), Timber Industry Federation, NZW14085 SC. **12.** Steiger R, Gehri E, Widmann R (2007) Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain. Mater Struct J 40(1):69–78.