



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 624.078.4; 624.011.2  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

**ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ  
КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЗУБЧАТЫМИ ПЛАСТИНАМИ**

*А.В. Карельский, канд. техн. наук*

*Т.П. Журавлева, асп.*

*В.В. Филиппов, студент*

*Б.В. Лабудин, д-р техн. наук, проф.*

*В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 22, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: KAW\_79@mail.ru

В результате нарушения режимов эксплуатации, технологии изготовления, силовых воздействий в клееных деревянных конструкциях зданий и сооружений появляются дефекты и повреждения, снижающие их прочностные и деформационные характеристики. Наиболее распространенным дефектом является расслоение клеевых швов с образованием продольных трещин, приводящих к предаварийному состоянию конструкций, что требует дополнительного их усиления. Существующие методы и способы усиления технологически сложны и предполагают демонтаж дефектных элементов или конструкций с заменой их на новые, что приводит к дополнительным затратам на ремонт и восстановление. Поэтому применение современных технологических решений по усилению цельных и клееных деревянных конструкций – актуальная проблема строительной отрасли. Выполнение работ по усилению включает три этапа: обследование, проектирование и монтажные работы. Обследование конструкции связано с определением всех требуемых параметров для проектирования усиления. Для оценки влияния трещин на несущую способность конструкции предложено использовать шарнирно-стержневую модель с представлением клееной древесины как анизотропного упругого тела с трещиной, возникшей путем удаления из дискретной системы связей сдвига. На основе расчетов выполняется подбор размеров, шага, количества и типа металлических зубчатых пластин с учетом податливости соединения. Рассматриваются варианты усиления клееных деревянных конструкций, способы запрессовки металлических пластин на проектной отметке, технология выполнения работ. Предложенные технические решения по усилению металлическими зубчатыми пластинами клееных деревянных конструкций с продольными трещинами позволяют уменьшить расход конструкционных пиломатериалов.

*Ключевые слова:* древесина, клееные деревянные конструкции, металлические зубчатые пластины, шарнирно-стержневая модель, непрочность, трещины, усиление.

---

*Для цитирования:* Карельский А.В., Журавлева Т.П., Филиппов В.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Технология усиления клееных деревянных конструкций металлическими зубчатыми пластинами // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 80–88. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

*Введение*

В отечественной практике при строительстве общественных, сельскохозяйственных, промышленных зданий и сооружений, в транспортном строительстве широкое применение в 70–80-е гг. XX в. получили деревянные клееные балки прямоугольного сечения пролетом до 24 м. После длительной эксплуатации в неблагоприятных температурно-влажностных условиях в них появляются продольные трещины, биопоражения и другие дефекты, снижающие прочностные и жесткостные характеристики конструкций. Существенный вклад в разработку методик обследования клееных деревянных конструкций (КДК) в различных зданиях и сооружениях внесли В.Ф. Иванов, Е.Н. Квасников, С.А. Душечкин, Е.Н. Серов [14], В.В. Стоянов [16], С.Б. Турковский, В.Ю. Щуко, В.М. Хрулев, Р.Б. Орлович [12], А.Я. Найчук [10] и др.

Наиболее распространенными повреждениями являются трещины в клеевых швах. У высоких балок с отношением высота/ширина  $> 6$  трещины могут быть сквозными, что приводит к аварийному состоянию конструкции и снижает живучесть сооружения [5]. Нами предложена методика восстановления несущей способности деревоклееных балок путем усиления металлическими зубчатыми пластинами (МЗП) [2].

Большой вклад в развитие деревянных конструкций с узлами на МЗП внесен В.Г. Ленновым, А.К. Наумовым, В.Г. Мироновым, В.А. Цепяевым, В.Г. Котловым и др. В исследованиях [9, 11, 18] разработана усовершенствованная методика расчета соединений на МЗП, в том числе с учетом длительной прочности и деформативности, в [6] введено понятие коэффициента единичной податливости и предложена формула для определения приведенного модуля упругости соединения. Авторами [7] изучено смятие древесины под зубьями МЗП вдоль и поперек волокон, установлены пределы прочности и коэффициент постели для соединений деревянных элементов на МЗП. В работе [1] рассмотрены вопросы влияния влажности на длительную прочность и ползучесть составных деревянных конструкций на МЗП, в [8] детально рассмотрено напряженно-деформированное состояние древесины в зоне контакта с нагелем и сделан вывод, что изменение свойств древесины в зоне контакта следует учитывать при проектировании стыков деревянных конструкций на МЗП. Зарубежный опыт представлен в работах [19–29]. Классификация дефектов клееных деревянных конструкций и их влияние на напряженно-деформированное состояние КДК рассмотрены в [3, 4], повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов с помощью углепластика, стекловолокна и других материалов – в [13, 16, 17]. Однако вопросы усиления несущих клееных деревянных и составных конструкций с помощью МЗП не рассматривались.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Усиление с использованием МЗП клееных деревянных элементов и балок с продольными трещинами предложено проводить в следующей последовательности:

обследование технического состояния КДК с составлением ведомостей дефектов и повреждений, документированием, разработкой детальных схем расположения дефектов (трещин и расслоений); выполнение работ по обследованию

дованию зданий и сооружений в соответствии с требованиями нормативной документации [15];

определение топографии расположения трещин на схеме балок;

аппроксимация массивной деревоклееной балки шарнирно-стержневой моделью, в которой удалены связи сдвига на участках с трещинами, и учтены анизотропные особенности материала [2] (рис. 1);

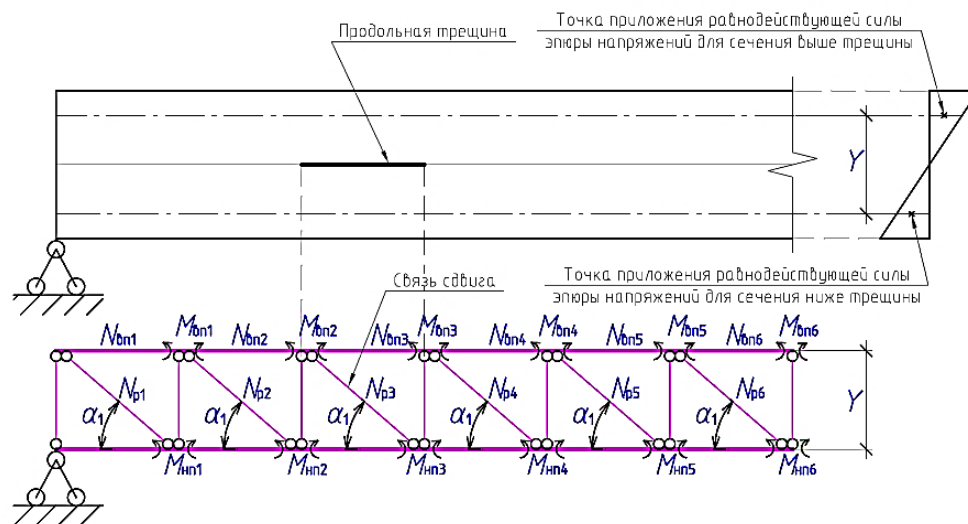


Рис. 1. Шарнирно-стержневая модель деревоклееной балки с трещиной:  $M_{впi}$  – изгибающий момент в  $i$ -м элементе верхнего пояса;  $M_{ниi}$  – изгибающий момент в  $i$ -м элементе нижнего пояса;  $N_{рi}$  – продольная сила в  $i$ -м элементе раскоса;  $N_{впi}$  – продольная сила в  $i$ -м элементе верхнего пояса;  $\alpha_1$  – угол наклона раскоса к горизонтальной плоскости;  $Y$  – расстояние между точками приложения равнодействующих сил эпюр напряжений для сечений выше и ниже трещины

расчет конструкции с оценкой влияния трещины на напряженно-деформированное состояние клееной деревянной балки с дефектом, на основании которого принимается конструктивно-технологическое решение об усилении КДК;

восстановление в расчетной схеме удаленной связи сдвига и определение усилия сдвига ( $T$ ) в смежных с трещиной участках шарнирно-стержневой модели:

$$T = N_{рi} \cos \alpha_i + \frac{M_{впi} - M_{впi-1} + M_{ниi} - M_{ниi-1}}{Y}; \quad (1)$$

определение площади МЗП ( $F_{расч}$ ), необходимой для усиления каждого участка:

$$F_{расч} = T / R_{пл}, \quad (2)$$

где  $R_{пл}$  – расчетное сопротивление соединения МЗП–древесина;

подбор количества и шага расположения пластин в зависимости от их типоразмеров;

проверка условия

$$Q / (th) \leq R_s, \quad (3)$$

где  $Q$  – поперечная сила;

$t$  – ширина сечения элемента;

$h$  – высота сечения элемента;

$R_s$  – расчетное сопротивление МЗП срезу.

принятие жесткостных и геометрических характеристик элементов связей сдвига, соответствующих соединению на МЗП (модуля упругости соединения на МЗП с учетом податливости соединения, ширины балки и полученной высоты сечения пластины) на участке с трещиной;

деформационный расчет модели в программном комплексе на основе метода конечных элементов и определение вертикальных перемещений узлов стержневой модели балки (при прогибе, превышающем предельные значения, рекомендуется выбирать тип МЗП с меньшей податливостью соединения);

выполнение проекта усиления балки с указанием мест установки, размеров, шага и типа МЗП (их устанавливают в зоны с трещиной и смежные с трещиной для предотвращения ее развития; при трещинах, располагающихся друг над другом, усиление совмещают одной МЗП; для усиления рекомендуется применять МЗП с модулем сдвига соединения, соответствующим модулю сдвига древесины (500 МПа); МЗП следует устанавливать попарно, симметрично по обе стороны балки (рис. 2));

разработка технологической карты на производство работ;

подготовка участка поверхности балки для усиления с помощью МЗП – выравнивание ручным или механизированным инструментом (влажность древесины при проведении ремонтно-восстановительных работ – 12...16 %);

вывешивание для разгрузки конструкции с установкой стоек;

последовательная запрессовка МЗП одиночно или попарно в соответствии со схемой расстановки МЗП; изгиб зубьев и пластины при запрессовке МЗП в древесину не допускается;

демонтаж разгружающих элементов после усиления балки;

визуально-инструментальная проверка качества работ;

испытание статическими или динамическими нагрузками ответственных несущих КДК.

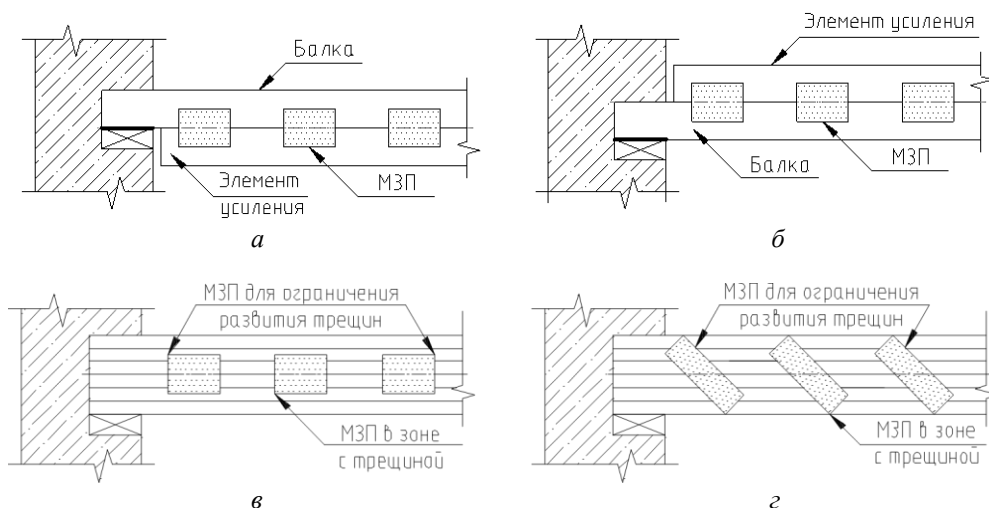


Рис. 2. Варианты усиления балок МЗП: а, б – усиление дополнительным элементом снизу и сверху соответственно; в, г – усиление в зоне с трещиной и в зоне с трещинами соответственно

Усиление МЗП может быть выполнено без демонтажа и с демонтажем конструкции и последующим усилением в заводских условиях. Первый способ представляет большой интерес, так как позволяет не останавливать эксплуатацию сооружения на период проведения работ по усилению деревянных конструкций. Усиление клееных деревянных балок на высоте требует создания специальной оснастки, основным элементом которой является устройство для одно- или двухсторонней запрессовки МЗП на проектной отметке (рис. 3).

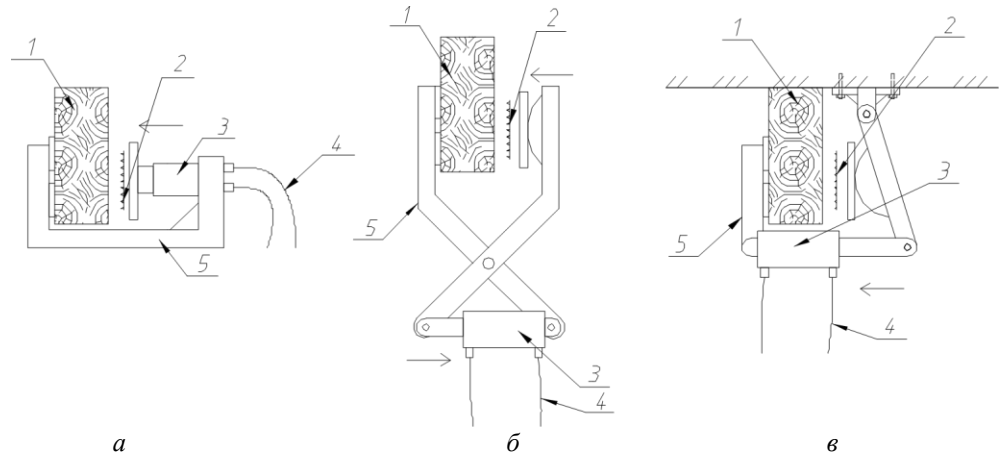


Рис. 3. Способы запрессовки МЗП для усиления балки: *а* – по типу «скоба»; *б* – по типу «ножницы»; *в* – с опорой на плиту перекрытия; 1 – деревянная балка; 2 – МЗП; 3 – гидравлический цилиндр; 4 – гидропривод; 5 – опорное устройство

### Заключение

Таким образом, технологию усиления клееных деревянных конструкций металлическими зубчатыми пластинами можно применять для составных деревянных конструкций и балок из цельной ретродревесины с образовавшимися в процессе эксплуатации дефектами в виде трещин (по древесине) и расслоений (по клеевым швам), что позволит снизить расход конструкционных пиломатериалов и обеспечит сбережение ресурсов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолаев В.В., Ценаев В.А. Расчетные характеристики древесины в соединениях строительных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Жилищ. стр-во. 2006. № 2. С. 14–15.
2. Карельский А.В. Технология изготовления составных деревянных конструкций с металлическими зубчатыми пластинами: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2015. 138 с.
3. Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Влияние трещин на напряженно-деформированное состояние клееных деревянных балок // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Междунар. акад. чтений. Курск: Курский гос. ун-т, 2015. С. 153–158.
4. Карельский А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Классификация дефектов и повреждений конструкций, выполненных из клееной древесины // Деревянные конструкции-2011: образование, практика, инновации в странах Баренцева Евро-Арктического региона: сб. науч. тр. Междунар. науч.-образоват. семинара. Архангельск, 2012. С. 165.

5. Карельский А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Требования к надежности и безопасной эксплуатации большепролетных клееных деревянных конструкций // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 143–147. (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Котлов В.Г. Пространственные конструкции из деревянных ферм с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1992. 17 с.

7. Крицун А.В. Расчет сквозных деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах с учетом упруго-вязких и пластических деформаций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2004. 24 с.

8. Лоскутова Д.В. Прочность и деформативность узловых соединений на металлических зубчатых пластинах в сквозных деревянных конструкциях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2009. 24 с.

9. Миронов В.Г. Проектирование строительных конструкций с соединениями на металлических нагельных пластинах в странах СНГ // Проектирование и изготовление деревянных конструкций с соединениями на металлических нагельных пластинах и нагельных группах: сб. докл. Междунар. конф., 1–3 сент. 1992 г. Киров, 1992. С. 11–25.

10. Найчук А.Я. Прочность элементов деревянных конструкций в условиях сложного неоднородного напряженного состояния: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2006. 378 с.

11. Наумов А.К. Изготовление деревянных конструкций, соединенных металлическими зубчатыми пластинами // Механ. обраб. древесины. 1976. № 7. С. 8–10.

12. Орлович Р.Б., Лабудин Б.В. Деформативность упругоподатливых соединений в деревянных конструкциях при длительных воздействиях // Лесн. журн. 1993. № 1. С. 78–82. (Изв. высш. учеб. заведений).

13. Рощина С.И., Сергеев М.С., Лукина А.В. Армированные деревянные конструкции // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 80–85. (Изв. высш. учеб. заведений).

14. Серов Е.Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1988. 521 с.

15. СП 13-102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2003. 28 с.

16. Стоянов В.В. Деревянные конструкции в условиях Европейского Севера // Лесн. журн. 2014. № 4. С. 149–153. (Изв. высш. учеб. заведений).

17. Стоянов В.В., Жгалли Ш. Повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов // Лесн. журн. 2016. № 1. С. 115–121. (Изв. высш. учеб. заведений).

18. Ценаев В.А. Исследование длительной прочности и деформативности соединений элементов деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах: дис. ... канд. техн. наук. М., 1982. 204 с.

19. Beineke L., Suddarth S. Modeling Joints Made with Light-Gage Metal Connector Plates // Forest Products Journal. 1979. Vol. 29, no. 8. Pp. 39–45.

20. Blaß H.J., Schädle P. Ductility Aspects of Reinforced and Non-Reinforced Timber Joints // Engineering Structures. 2011. Vol. 33, iss. 11. Pp. 3018–3026.

21. Erdodi L., Bodi I. Experimental and Numerical Analysis of Timber Joints // High Performance Structures and Materials: The 2nd Intern. Conf. Heraklion, Greece, March 12–15, 2004 / Ed. by C.A. Brebbia, W.P. Wilde. London: Witpress, 2004. Pp. 201–210.

22. Fox S.E. Repair of Wood Trusses // Structure Magazine. 2008. November. Pp. 46–49.

23. Gattesco N., Macorini L. In-plane Stiffening Techniques with Nail Plates or CFRP Strips for Timber Floors in Historical Masonry Buildings // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 58. Pp. 64–76.

24. Humbert J., Boudaud C., Baroth J., Hameury S., Daudeville L. Joints and Wood Shear Walls Modelling I: Constitutive Law, Experimental Tests and FE Model under Quasi-Static Loading // Engineering Structures. 2014. Vol. 65. Pp. 52–61.

25. Karadelis J., Brown P. Punched Metal Plate Timber Fasteners under Fatigue Loading // *Construction and Building Materials*. 2000. Vol. 14, iss. 2. Pp. 99–108.

26. Loferski J.R., Bouldin J.C., Hindman D.P. Development of a Methodology for the Visual Inspection of Engineered Wood Products and Metal Hangers in Residential Construction // *Proc. 2nd Intern. Conf. Structural Health Assessment of Timber Structures* (Trento, Italy, September 4–6, 2013) / Ed. by M. Piazza, M. Riggio. Pp. 342–349.

27. Malinowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik-Verbinder aus Stahlblech // *Bauen mit Holz*. 1989. Vol. 12. Pp. 872–877.

28. Nielsen J. An Unravelling of the Effect of Partially Embedded Punched Metal Plate Fastener on the Lateral Anchorage Strength // *Structural Design*. 1999. No. 3. 19 p.

29. Rammer D.R. Wood: Mechanical Fasteners // *Reference Module in Materials, Science and Materials Engineering* / Ed. by S. Hashmi. Oxford: Elsevier, 2016. Pp. 1–10.

Поступила 19.09.17

UDC 624.078.4; 624.011.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

### **Reinforcement Technology of Laminated Wood Structures by Gang Nail**

*A.V. Karel'skiy, Candidate of Engineering Sciences*

*T.P. Zhuravleva, Postgraduate Student*

*V.V. Filippov, Student*

*B.V. Labudin, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*V.I. Melekhov, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 22, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: KAW\_79@mail.ru

Violation of operation modes, manufacturing technology, and force effects in laminated wood constructions of buildings and structures cause defects and damages that reduce their strength and deformation characteristics. The most common defect is the delamination of glue joints with the formation of longitudinal cracks leading to the pre-emergency state of structures, which requires their additional reinforcement. The existing methods of strengthening are technologically complex and involve the dismantling of defective elements or structures with their replacement by new ones, which leads to additional costs for repair and restoration. Therefore, the use of modern technological solutions to reinforce solid and laminated wood structures is an urgent problem of the construction industry. The strengthening process include three stages: inspection, design and installation works. The inspection stage involves determining all the required parameters for the gain design. To assess the effect of cracks on the bearing capacity of the structure we propose to use a hinged-rod model with glued wood as an anisotropic elastic body with a crack appeared by removing the shear bonds from the discrete system. Based on calculations, the author select the size, step, quantity and nail gang type, taking into account the compliance of the joint. We consider options for reinforcing laminated wood structures, methods of nail gang pressing at the design mark, the performing technology. The proposed gang nail reinforcement technologies of laminated wood structures with longitudinal cracks allow reducing the consumption of structural lumber.

*Keywords:* wood, laminated wood structure, gang nail, hinged-rod model, glueline defect, delamination, reinforcement.

---

*For citation:* Karel'skiy A.V., Zhuravleva T.P., Filippov V.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Reinforcement Technology of Laminated Wood Structures by Gang Nail. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 80–88. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

## REFERENCES

1. Ermolaev V.V., Tsepaev V.A. Raschetnye kharakteristiki drevesiny v soedineniyakh stroitel'nykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Calculated Characteristics of Wood in Structural Connections with Gang Nail]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2006, no. 2, pp. 14–15.
2. Karel'skiy A.V. *Tekhnologiya izgotovleniya sostavnykh derevyannykh konstruksiy s metallicheskimi zubchatymi plastinami*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Manufacturing Technology of Composite Wooden Structures with Gang Nail: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2015. 138 p.
3. Karel'skiy A.V., Zhuravleva T.P., Labudin B.V., Melekhov V.I. Vliyanie treshchin na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie kleenykh derevyannykh balok [Influence of Delamination on the Strain-Stress State of Glued Laminated Beams]. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: materialy Mezhdunar. akad. chteniy* [Safety of the Building Fund of Russia. Problems and Solutions: Proc. Intern. Academic Readings]. Kursk, Kursk State University Publ., 2015, pp. 153–158. (In Russ.)
4. Karel'skiy A.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Klassifikatsiya defektov i povrezhdeniy konstruksiy, vypolnennykh iz kleenoy drevesiny [Defects and Damages Classification of Glulam]. *Derevyannye konstruksii-2011: obrazovanie, praktika, innovatsii v stranakh Barentseva Evro-Arkticheskogo regiona: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-obrazovat. seminar* [Wooden Constructions – 2011: Education, Practice, Innovations in the Countries of the Barents Euro-Arctic Region: Proc. Intern. Sci. Educational Seminar]. Arkhangelsk, 2012. 165 p. (In Russ.)
5. Karel'skiy A.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Trebovaniya k nadezhnosti i bezopasnoy ekspluatatsii bol'sheproletnykh kleenykh derevyannykh konstruksiy [Reliability Requirements for the Large-Span Laminated Wood Structural Elements]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 3, pp. 143–147.
6. Kotlov V.G. *Prostranstvennye konstruksii iz derevyannykh ferm s uzlovymi soedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Spatial Structures from Wooden Trusses with Gang Nail Nodes: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 1992. 17 p.
7. Kritsin A.V. *Raschet skvoznykh derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh s uchetom uprugo-vyazkikh i plasticheskikh deformatsiy*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Calculation of Framed Wooden Structures Connected with Gang Nail Considering the Elastoviscoplastic Deformations: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Nizhniy Novgorod, 2004. 24 p.
8. Loskutova D.V. *Prochnost' i deformativnost' uzlovykh soedineniy na metallicheskih zubchatykh plastinakh v skvoznykh derevyannykh konstruksiyakh*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Strength and Deformability of the Gang Nail Joint Connections in Framed Wooden Structures: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Tomsk, 2009. 24 p.
9. Mironov V.G. *Proektirovanie stroitel'nykh konstruksiy s soedineniyami na metallicheskih nagel'nykh plastinakh v stranakh SNG* [Design of Building Structures with Gang Nail Connections in the CIS Countries]. *Proektirovanie i izgotovlenie derevyannykh konstruksiy s soedineniyami na metallicheskih nagel'nykh plastinakh i nagel'nykh grup-pakh: sb. dokl. Mezhdunar. konf., Kirov, 1–3 sent. 1992 g.* [Designing and Manufacturing of Wooden Constructions with Gang Nailed and Nailed Group Connections: Proc. Intern. Conf., Kirov, 1–3 September 1992]. Kirov, 1992, pp. 11–25. (In Russ.)
10. Naychuk A.Ya. *Prochnost' elementov derevyannykh konstruksiy v usloviyakh slozhnogo neodnorodnogo napryazhennogo sostoyaniya*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Strength of Wooden Structural Elements within the Conditions of Complex Non-Homogeneous Stress: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 2006. 378 p.
11. Naumov A.K. *Izgotovlenie derevyannykh konstruksiy, soedinennykh metallicheskimi zubchatymi plastinami* [Manufacturing of Wooden Structures Connected with Gang Nail]. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny*, 1976, no. 7, pp. 8–10.
12. Orlovich R.B., Labudin B.V. *Deformativnost' uprugopodatlivykh soedineniy v derevyannykh konstruksiyakh pri dlitel'nykh vozdeystviyakh* [Deformation of Resilient



Joints in Wooden Structures after Long-Term Effects]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1993, no. 1, pp. 78–82.

13. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V. Armirovannye derevyannye konstruktсии [Reinforced Wooden Structures]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 4, pp. 80–85.

14. Serov E.N. *Ratsional'noe ispol'zovanie anizotropii prochnosti materialov v kleenykh derevyannykh konstruktsiyakh massovogo izgotovleniya*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Rational Use of Strength Anisotropy in the Laminated Wood Structures of Mass Production: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Leningrad, 1988. 521 p. (In Russ.)

15. *SP 13-102-2003. Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitel'nykh konstruktсий zdaniy i sooruzheniy* [Code Specification 13-102-2003. Rules for Inspection of Load-Bearing Structures of Buildings and Constructions.] Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2003. 28 p.

16. Stoyanov V.V. Derevyannye konstruktсии v usloviyakh Evropeyskogo Severa [Timber Constructions in the European North]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 4, pp. 149–153.

17. Stoyanov V.V., Zhgalli Sh. Povyshenie nesushchey sposobnosti derevyannykh izgibaemykh elementov [Load Bearing Capacity of Wooden Bending Elements]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 1, pp. 115–121.

18. Tsepaev V.A. *Issledovanie dlitel'noy prochnosti i deformativnosti soedineniy elementov derevyannykh konstruktсий na metallicheskih zubchatykh plastinakh*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Investigation of Long-Term Strength and Deformability of Gang Nail Connections of Wood Structure Elements: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1982. 204 p.

19. Beineke L., Suddarth S. Modeling Joints Made with Light-Gage Metal Connector Plates. *Forest Products Journal*, 1979, vol. 29, no. 8, pp. 39–45.

20. Blaß H.J., Schädle P. Ductility Aspects of Reinforced and Non-Reinforced Timber Joints. *Engineering Structures*, 2011, vol. 33, iss. 11, pp. 3018–3026.

21. Erdodi L., Bodi I. Experimental and Numerical Analysis of Timber Joints. *High Performance Structures and Materials. The 2nd Intern. Conf. Heraklion, Greece, March 12–15, 2004*. Ed. by C.A. Brebbia, W.P. Wilde. London, Witpress, 2004, pp. 201–210.

22. Fox S.E. Repair of Wood Trusses. *Structure Magazine*, 2008, November, pp. 46–49.

23. Gattesco N., Macorini L. In-plane Stiffening Techniques with Nail Plates or CFRP Strips for Timber Floors in Historical Masonry Buildings. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 58, pp. 64–76.

24. Humbert J., Boudaud C., Baroth J., Hameury S., Daudeville L. Joints and Wood Shear Walls Modelling I: Constitutive Law, Experimental Tests and FE Model under Quasi-Static Loading. *Engineering Structures*, 2014, vol. 65, pp. 52–61.

25. Karadelis J., Brown P. Punched Metal Plate Timber Fasteners under Fatigue Loading. *Construction and Building Materials*, 2000, vol. 14, iss. 2, pp. 99–108.

26. Loferski J.R., Bouldin J.C., Hindman D.P. Development of a Methodology for the Visual Inspection of Engineered Wood Products and Metal Hangers in Residential Construction. *Proc. 2nd Intern. Conf. Structural Health Assessment of Timber Structures. Trento, Italy, September 4–6, 2013*. Ed. by M. Piazza, M. Riggio. Trento, Italy, 2013, pp. 342–349.

27. Malinowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik-Verbinder aus Stahlblech. *Bauen mit Holz*, 1989, vol. 12, pp. 872–877.

28. Nielsen J. An Unravelling of the Effect of Partially Embedded Punched Metal Plate Fastener on the Lateral Anchorage Strength. *Structural Design*, 1999, no. 3. 19 p.

29. Rammer D.R. Wood: Mechanical Fasteners. *Reference Module in Materials. Science and Materials Engineering*. Ed. by S. Hashmi. Oxford, Elsevier, 2016, pp. 1–10.

Received on 19.09.17