

doi: 10.5862/MCE.54.9

## Испытание на изгиб деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, разрушающей нагрузкой

*Старший преподаватель А.В. Карельский;  
ассистент Т.П. Журавлева;  
д.т.н., профессор Б.В. Лабудин,*

*Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова*

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты испытаний деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами (МЗП), разрушающей нагрузкой. Установлены два типа разрушения составных деревянных балок: хрупкое и пластичное.

Построена математическая модель составных деревянных балок с МЗП и проведен анализ результатов численных исследований. В математической модели составных балок учтена податливость соединения «МЗП-древесина» введением в расчетную схему элементов, имитирующих соединение, в виде стержней с приведенным модулем упругости.

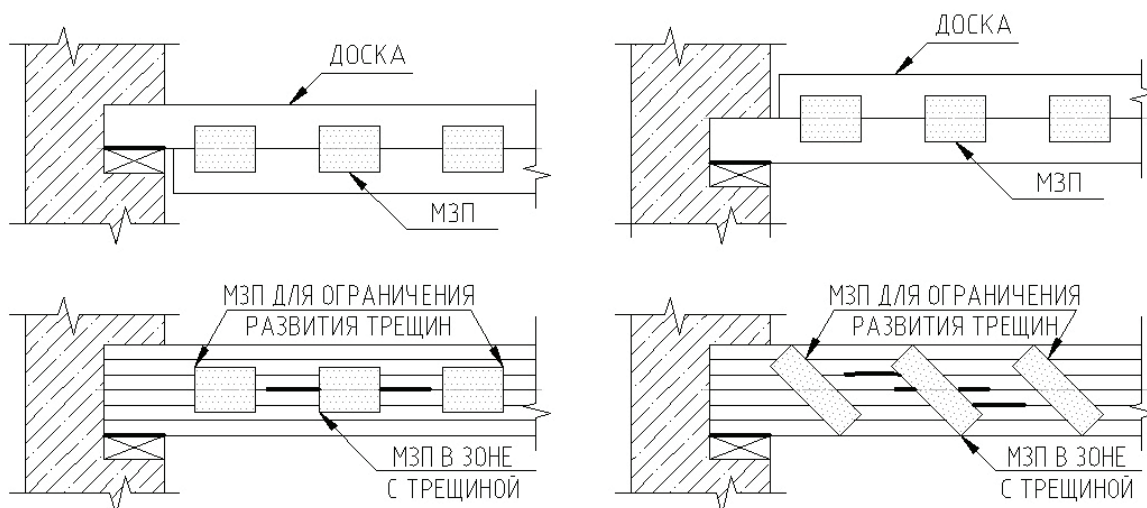
Выполнено сравнение полученных теоретических и экспериментальных результатов напряженно-деформируемого состояния (НДС) в составной балке с МЗП. Сделан вывод об эффективности применения МЗП для повышения сдвигоустойчивости соединения составных деревянных конструкций как при усилении, так и при изготовлении новых балочных конструкций.

**Ключевые слова:** металлические зубчатые пластины; составные деревянные балки; изгиб; сдвиг; краевые деформации волокон; усиление.

Металлические зубчатые пластины (МЗП) – один из видов нагельных соединений. Первые упоминания об этих пластинах появились в 1950 году в США (автор Джон Джуреит). В 1953 году им основана компания по производству МЗП Gang-Nail Systems Inc. В СССР стальные пластины были разработаны ЦНИИСК им. Кучеренко в 1970-х гг. Большой вклад в развитие сквозных конструкций с узлами на МЗП внесли профессора В.Г. Леннов, А.К. Наумов, В.Г. Миронов, В.А. Цапаев, В.В. Стоянов и др. В работах [1–9] была разработана и усовершенствована методика расчета соединений на МЗП, в том числе с учетом длительной прочности и деформативности. В.Г. Котлов [10, 11] уточнил методики расчета, введя понятие коэффициента единичной податливости и разработав формулу для определения приведенного модуля упругости соединения. В работе [12] А.В. Крициным подробно проработаны вопросы смятия древесины под зубьями МЗП вдоль и поперек волокон. Выведены пределы прочности и коэффициент постели для соединений на МЗП. В.В. Ермолаевым [13–16] рассмотрены вопросы влияния влажности на длительную прочность и ползучесть составных деревянных конструкций на МЗП. В работах [17–21] Д.В. Лоскутовой детально рассмотрено напряженно-деформированное состояние древесины в зоне контакта с нагелем. Сделаны выводы, что свойства древесины в зоне контакта меняются и это следует учитывать при проектировании стыков на МЗП. Зарубежный опыт разработки соединений на МЗП представлен в работах [22–31]. В работе [22] рассматривается усиление деревянных полов МЗП и углеволокном. Соединения деревянных элементов встык при помощи МЗП описаны в работе [23]. Сравнение работы соединений на МЗП и болтах проведено в трудах [24]. Конструкции стыков элементов каркаса между собой рассматриваются в работе [25]. Вопросы усиления несущих клееных деревянных и составных конструкций при помощи МЗП практически не решались.

Предлагается рассмотреть усиление клееных деревянных балок и составных деревянных балок при помощи МЗП. Наиболее распространенные повреждения клееных деревянных балок – это продольные трещины в клеевых швах. Появление таких трещин ослабляет сечение балок и при дальнейшем развитии трещин приводит к их разрушению. Запрессовав МЗП в зону с трещиной и в зону возможного развития трещины, можно восстановить несущую способность сечения (рис. 1). Это особенно характерно для высоких клееных балок при отношении  $h/b \geq 6$ , то есть балок, на которые совместное действие касательных и нормальных напряжений оказывает наибольшее влияние [32, 33]. Кроме того, при помощи МЗП можно увеличивать высоту сечения, наращивая дополнительное сечение, а также препятствовать развитию трещин в деревянных балках цельного сечения.

Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В. Испытание на изгиб деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, разрушающей нагрузкой



**Рисунок 1. Усиление балок с трещинами сплачиванием и наращиванием дополнительного сечения при помощи МЗП**

Для исследования данного вопроса проведены испытания деревянных балочных конструкций, усиленных МЗП. При моделировании клееной балки со сквозной трещиной считаем, что трещина рассекает балку на 2 части по всей ее длине, то есть проклеенный участок шва уже разрушен, что позволит учесть полную работу элемента усиления МЗП. Таким образом, основной задачей проведения испытаний является определение эффективности усиления шва составного элемента и повышение его сдвигоустойчивости при статическом нагружении. Для испытаний выбраны элементы пиломатериалов хвойных пород (сосна) с одним швом, состоящим из двух стержней. Пролет балок  $l = 3$  м, высота сечения  $h = 300$  мм, ширина принимается равной  $1/6$  высоты сечения составной балки, или  $b = 45$  мм. Шов, имитирующий трещину, образуется посередине высоты сечения балки (рис. 1, 3).

Для исследований были выбраны МЗП марки GNA20-MIT фирмы Mitek. В соответствии с предварительным расчетом по методикам [34] и [35] размер МЗП составляет  $200 \times 140$  мм с шагом 400 мм.

Расчетная несущая способность соединения определялась по результатам экспериментальных исследований соединения на сдвиг, выполненных предварительно на натуральных образцах. Программа испытаний была разработана на основании планирования эксперимента.

Испытательная установка принималась для одновременного нагружения двух составных балок (рис. 2). Балки раскреплялись из плоскости изгиба диафрагмами в четырех точках. Опираие балок – шарнирное.

Влажность древесины, определенная с помощью измерителя влажности «Влагомер-МГ4», составляла 10–12 %. Сплоченные по высоте балки были выдержаны в течение 2 месяцев при температуре окружающей среды  $18^\circ\text{C}$  и влажности 60 %, а затем смонтированы на экспериментальном стенде.

Для получения данных использовались прогибомеры ЗОКИО, тензометры Гугенбергера, индикаторы часового типа ИЧ-10. Прогибомеры устанавливались посередине пролета балок, тензометры – в зонах максимальных краевых напряжений. Измерение взаимного сдвига балок между собой осуществлялось индикаторами часового типа, установленными по торцам балок. Схема расположения средств измерений представлена на рисунке 3.



Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки

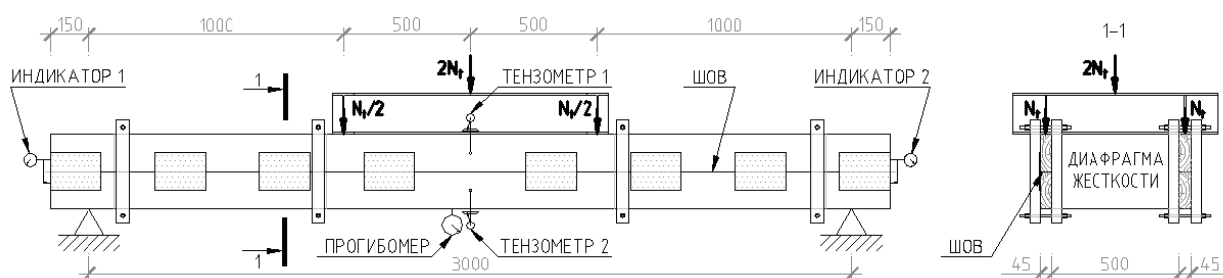


Рисунок 3. Схема расположения средств измерения

Нагружение конструкций производилось гидравлическим домкратом ДГИ20М135В-М грузоподъемностью 20 т. Значение нагрузки рассчитано по показаниям манометра и распределялось на четыре точки приложения нагрузки (в третях, по две для каждой балки). Распределение нагрузки показано на расчетной схеме (рис. 4).

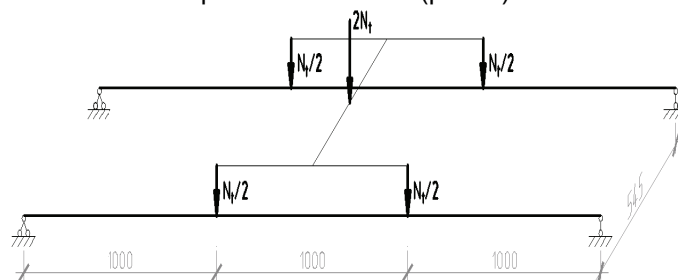


Рисунок 4. Расчетная схема загрузки балок

Нагружение деревянных составных балок с соединением на МЗП осуществлялось ступенями до разрушения.

По результатам испытаний установлено разрушение двух типов:

- I тип – пластичное разрушение от сдвигающих усилий при образовании продольной трещины под МЗП (разрушающая нагрузка 58 кН) (рис. 5);
- II тип – хрупкое разрушение от нормальных напряжений в середине длины балки в местах ослабления от сучков (разрушающая нагрузка 34 кН) (рис. 6).

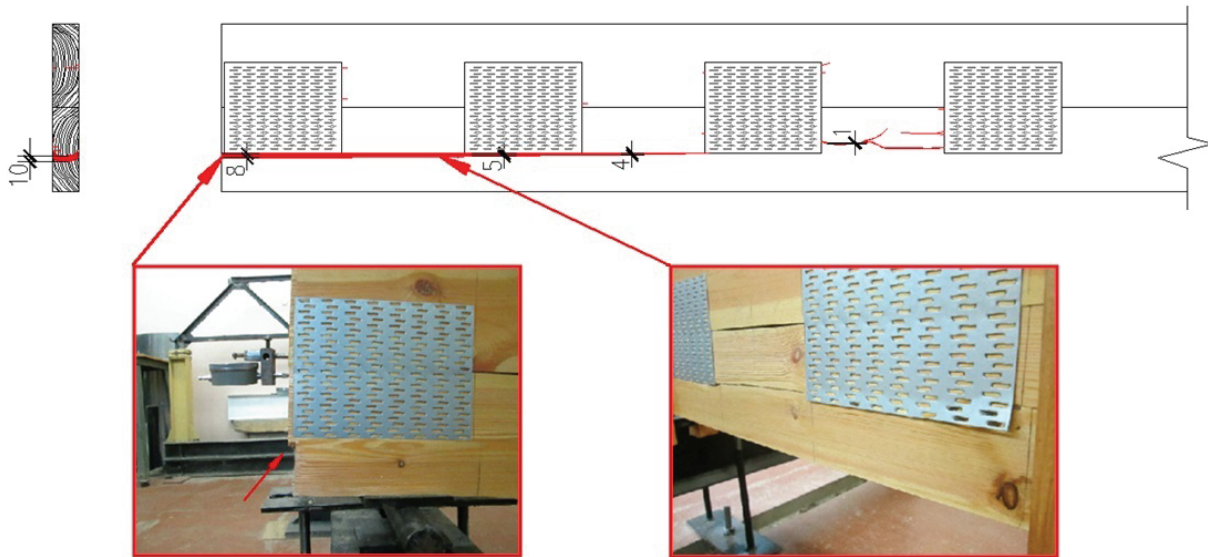


Рисунок 5. Характер разрушения балки (I тип разрушения)

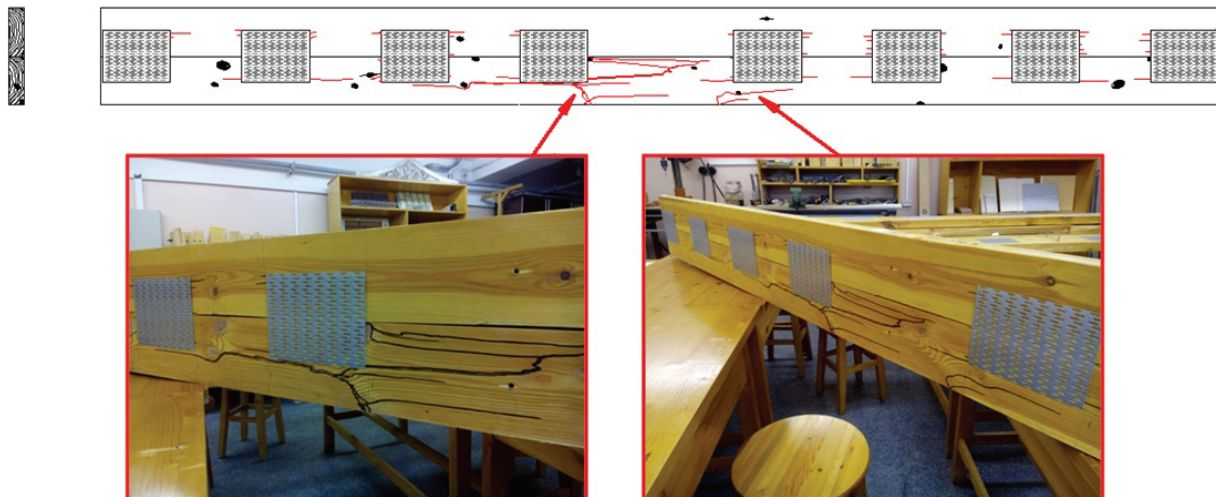


Рисунок 6. Характер разрушения балки (II тип разрушения)

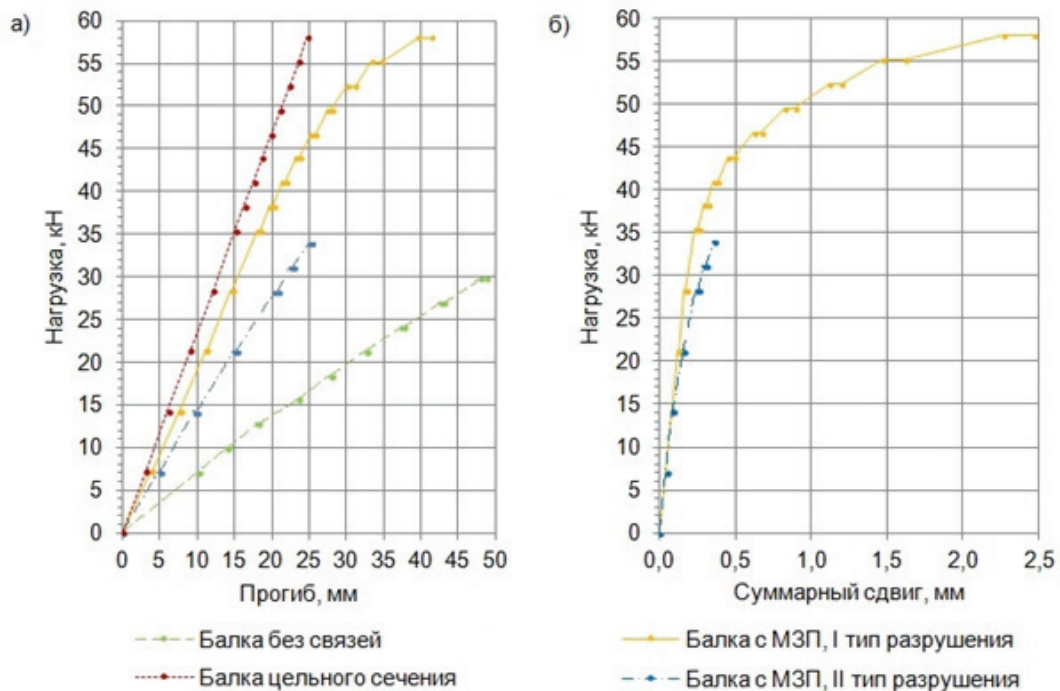
Анализ результатов выполнен по зависимости  $N-f$ . В соответствии с исследованиями [9] коэффициенты надежности определялись из соотношений:

$$\begin{aligned}
 k_{nl} &= 1,54 \cdot (1,61 - 0,094 \cdot \lg t) \\
 k_{xp} &= 1,82 \cdot (1,61 - 0,094 \cdot \lg t) \\
 t &= \frac{t'_1}{38,2},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

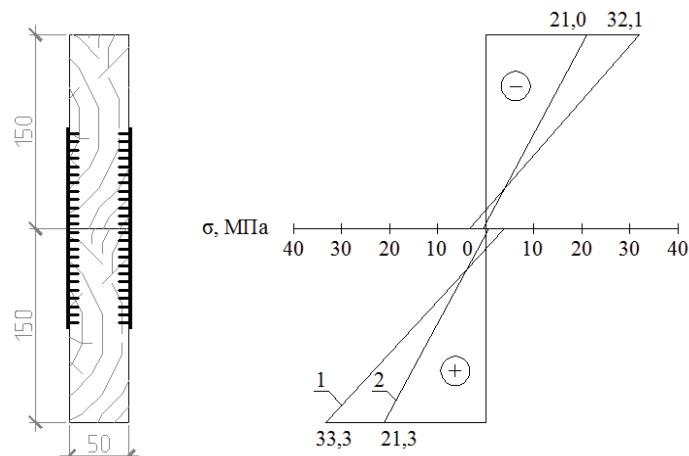
где  $t$  – приведенная продолжительность, с;

$t'_1$  – продолжительность испытания, с.





**Рисунок 7. Экспериментальные зависимости:**  
**а – максимального прогиба балок от нагрузки; б – суммарного сдвига от нагрузки**



**Рисунок 8. Эпюры максимальных нормальных напряжений в балке, соединенной МЗП:**  
**1 – I тип разрушения; 2 – II тип разрушения**

На основании статистической обработки результатов испытаний восьми экспериментальных балок в таблице 1 приведены основные значения полученных параметров.

Для сравнения полученных результатов испытаний с теоретическими в расчетном комплексе SCAD Office построена математическая модель балки только I типа разрушения с конечным элементом «оболочка» №44. Размеры каждого конечного элемента принимались 50x50 мм, то есть балка разбивалась на 6 рядов по высоте и на 66 по длине (рис. 9). Для древесины принимались следующие параметры конечных элементов: толщина 0,05 м, модуль упругости 10000 МПа, коэффициент Пуассона 0,49. Для моделирования шва между составными балками узлы конечных элементов в зоне шва не объединялись, а для совместной работы составных балок у этих узлов объединялись перемещения по направлению оси Z.

При моделировании принимались следующие гипотезы и допущения:

- древесину считаем транслопным, гомогенным (однородным) материалом без учета допускаемых пороков;
- основной работой МЗП в соединении является восприятие сдвигающих усилий;
- податливость соединения «МЗП – древесина» определялась из предварительных экспериментальных исследований соединения и учитывалась через приведенный модуль упругости по формуле [20]:

$$E_{np} = E' / [1 + (E' \cdot F \cdot \Delta_{eo} \cdot A / l)], \quad (2)$$

где  $E' = 300 \cdot R_c$  – касательный модуль упругости древесины, МПа;

$R_c$  – сопротивление сжатию, МПа;

$\Delta_{eo}$  – податливость на единицу площади соединения, 1/кНм;

$F$  – площадь сечения элемента с соединением, м<sup>2</sup>;

$A$  – площадь соединения, м<sup>2</sup>;

$l$  – длина соединения, м.

**Таблица 1. Результаты испытаний составных балок**

Показатель	Ед. изм.	Балка с МЗП, I тип разрушения	Балка с МЗП, II тип разрушения
Разрушающая нагрузка, $N_t$	кН	58,00	34,00
Расчетная нагрузка, $N_{I-II}$ (в упругой стадии)	кН	35,40	34,00
Коэффициент надежности, $K_{пл}$		2,24	-
Коэффициент надежности, $K_{хр}$		-	2,76
Прогиб $f$ при $N_{I-II}$	мм	18,00	24,93
Расчетный прогиб $f$ цельной балки при $N_{I-II}$ по СНиП II-25-80	мм	15,06	14,46
Нормальные напряжения, $\sigma_{верх}$	при $N_t$	МПа	21,00
	при $N_{I-II}$		
Нормальные напряжения, $\sigma_{ниж}$	при $N_t$	МПа	21,30
	при $N_{I-II}$		
Сум. сдвиг $S$ при $N_t$	мм	2,46	0,36
Сум. сдвиг $S$ при $N_{I-II}$	мм	0,23	0,36

При загрузке составной конструкции сопротивление сдвигу воспринимается участком соединения «МЗП – древесина». Для рассматриваемой конструкции с конкретным типом и размерами МЗП сопротивление соединения «МЗП – древесина» будет меньше, чем сопротивление стальной пластины срезу (установлено на основании натуральных экспериментальных исследований на сдвиг соединения «МЗП – древесина» и обосновано расчетом). Поэтому конечные элементы, имитирующие МЗП, с некоторой долей допущения принимались с жесткостью, соответствующей жесткости соединения «МЗП – древесина», с учетом податливости соединения.

В зоне соединения принимаем стержневые конечные элементы площадью сечения  $F$  (200x50 мм) с модулем упругости 2298 МПа.



**Рисунок 9. Расчетная схема составной балки**

Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В. Испытание на изгиб деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, разрушающей нагрузкой

Результаты расчета приведены в таблице 2 и на рисунке 10.

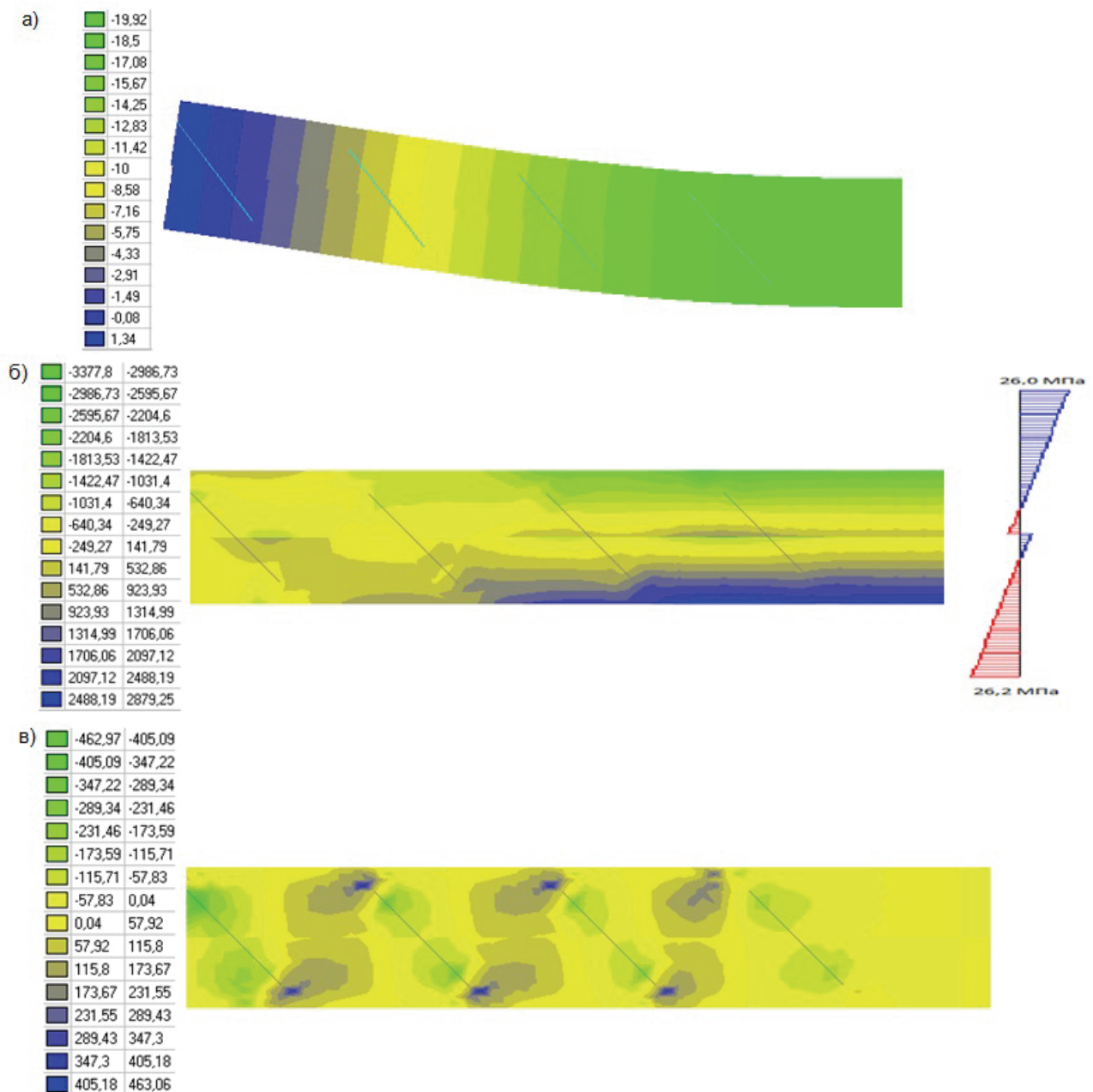


Рисунок 10. Мозаика НДС в составной балке (на полупролете):  
 а – перемещения, мм; б – нормальные напряжения,  $\sigma_x$ , тс/м<sup>2</sup>;  
 в – касательные напряжения,  $\tau_x$ , тс/м<sup>2</sup>

Таблица 2. Сравнение результатов экспериментальных и теоретических исследований

Показатель	Ед. изм.	Экспериментальные исследования	Теоретические исследования
Разрушающая нагрузка $N_i$	кН	58,00	58,00
Расчетная нагрузка $N_{I-II}$ в упругой стадии	кН	35,40	35,40
Прогиб $f$ при $N_{I-II}$	мм	18,0	19,92
Нормальные напряжения $\sigma_{\text{верх}}$ при $N_{I-II}$	МПа	23,20	26,00
Нормальные напряжения $\sigma_{\text{ниж}}$ при $N_{I-II}$	МПа	23,80	26,20

Сравнивая характер разрушения балки на рисунке 5 и эпюры на рисунках 10, можно увидеть, что балка разрушилась на участках с максимальными напряжениями, которые получены по результатам численных исследований. Разрушение балок произошло по древесине в зонах без МЗП, а не от потери несущей способности самого МЗП или соединения «МЗП – древесина».

Хорошая сходимость результатов экспериментальных и численных исследований деформативности балки говорит о корректности учета податливости соединения «МЗП – древесина» в математической модели.

### Выводы

1. Составная балка на МЗП выдержала нагрузки, сопоставимые с предельными кратковременными нагрузками для цельной балки аналогичного сечения.
2. Разрушение балок при экспериментальных исследованиях происходило в зонах с максимальными нормальными напряжениями и от совместного действия нормальных и касательных напряжений.
3. Расхождение результатов численных и экспериментальных исследований составляет для нормальных напряжений от 9,2 до 10,8 %.
4. Вследствие податливости соединения «МЗП – древесина» деформативность (вертикальные перемещения) составной балки больше, чем цельной, на 16,3 %.
5. Выполненные исследования показали эффективность применения МЗП для повышения сдвигоустойчивости соединения составных деревянных конструкций как при усилении, так и при изготовлении новых конструкций.

### Литература

1. Наумов А.К. Изготовление деревянных конструкций, соединенных металлическими зубчатыми пластинами // Механическая обработка древесины. 1976. №7. С. 8–10.
2. Наумов А.К. Исследование несущей способности нагеля-зуба в соединениях деревянных элементов // Вторая научная конференция молодых ученых Волго-Вятского региона. Йошкар-Ола, 1973. С. 16–17.
3. Наумов А.К. Исследование соединений легких деревянных несущих конструкций на металлических зубчатых пластинах. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Москва, 1975. 143 с.
4. Цапаев В.А. Длительная прочность соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах // Механическая обработка древесины. 1980. №9. С. 10.
5. Цапаев В.А. Исследование длительной прочности и деформативности соединений элементов деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах. Дисс....канд. техн. наук. Москва, 1982. 180 с.
6. Цапаев В.А. Прогнозирование деформативности соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах для заданного срока службы конструкций // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1985. №6. С. 18–21.
7. Цапаев В.А. Расчет соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах по деформациям с учетом фактора времени // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1984. №8. С. 9–13.
8. Цапаев В.А., Котлов В.Г. Учет деформативности соединений на МЗП при расчете строительных конструкций // Исследование облегченных конструкций из древесины, фанеры и пластмасс: Межвузовский сборник. Ленинград, 1986. С. 76–79.
9. Цапаев В.А., Колобов М.В. Коэффициенты надежности соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Жилищное строительство. 2008. №5. С. 26–27.
10. Котлов В.Г. Пространственные конструкции из деревянных ферм с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах. Автореф. дисс....канд. техн. наук. Казань, 1992. 17 с.
11. Котлов В.Г. Определение податливости, узловых соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Расчет и испытание металлических и деревянных конструкций: Межвузовский сборник. Казань, 1986. С. 95–97.
12. Крицин А.В. Расчет сквозных деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах с учетом упруго-вязких и пластических деформаций. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2004. 24 с.



13. Ермолаев В.В. Автоматизация расчета соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах (МЗП) по деформациям // Технические науки: Сборник трудов аспирантов и магистрантов. Нижний Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2005. С. 17–20.
14. Ермолаев В.В., Цепаев В.А. О расчете деформаций соединений деревянных конструкций // Жилищное строительство. 2006. №6. С. 21–23.
15. Ермолаев В.В., Цепаев В.А. Расчётные характеристики древесины в соединениях строительных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Жилищное строительство. 2006. №2. С. 14–15.
16. Ермолаев В.В. Экспериментальные исследования ползучести соединений деревянных элементов под углом на металлических зубчатых пластинах // Технические науки: Сборник трудов аспирантов и магистрантов. Нижний Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2006. С. 21–25.
17. Лоскутова Д.В. Прочность и деформативность узловых соединений на металлических зубчатых пластинах в сквозных деревянных конструкциях. Автореф....канд. техн. наук. Томск, 2009. 24 с.
18. Лоскутова Д.В. Расчет напряженно-деформированного состояния древесины в зоне контакта с металлической зубчатой пластиной // Вестник ТГАСУ. 2008. №3. С. 149–156.
19. Лоскутова Д.В. Частотно-временной анализ деревянной фермы с соединениями на МЗП // Актуальные проблемы современного строительства: Сборник материалов 60-й международной научно-технической конференции. СПб: Изд-во СПбГАСУ, 2007. С. 114–118.
20. Лоскутова Д.В. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния древесины в зоне контакта с нагелем // Вестник ТГАСУ. 2008. №1. С. 92–96.
21. Лоскутова Д.В. Экспериментальные исследования узловых соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах при изгибе // Вестник ТГАСУ. 2008. №4. С. 74–80.
22. Gattesco N., Macorinib 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.
23. Karadelis J., Brown P. Punched metal plate timber fasteners under fatigue loading // Construction and Building Materials. 2000. Vol. 14. Pp. 99–108.
24. Blaß H.J., Schädle P. Ductility aspects of reinforced and non-reinforced timber joints // Engineering Structures. 2011. Vol. 33. Pp. 3018–3026.
25. 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.
26. Tomoyuki H., Hikaru S., Minoru M. Rotating bending fatigue properties of timber built-joints with metal plate connectors // Journal of the society of materials science. 1979. No. 28. Pp. 623–628.
27. Berenyi B. Gang-Nail típusu szeglemezes fa taratoszerke // Magyar Epiteipar. 1979. No. 5. Pp. 286–291.
28. BSR/TPI 1-199x. National Design standard for metal plate connected wood truss construction. Truss Plate Institute. 1992. 112 p.
29. Connectors and metal plate fasteners for structural timber // Timber Research and Development Association. 1996. P. 53.
30. Rysavy E. Racsos faczerkezetek Gang-Nail szeglemezes kapcsolatainak teherbirasa // Magyar Epiteipar. 1979. No. 8. Pp. 484–486.
31. Beineke L., Suddarth S. Modeling joints made with light-gage metal connector plates // Forest products journal. 1979. Vol. 29. No. 8. Pp. 39–45.
32. Светозарова Е.И. О напряжениях в клеодошчатых балках увеличенной высоты // Межвузовский тематический сборник трудов №2 (140). Ленинград: Изд-во ЛИСИ, 1978. С. 10–15.
33. Попов В.Д., Серов Е.Н. Упрочнение приопорных зон клеодошчатых балок // Межвузовский тематический сборник трудов №2 (140). Ленинград: Изд-во ЛИСИ, 1978. С. 15–21.
34. Рекомендации по проектированию и изготовлению дошчатых конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Москва: Стройиздат, 1983. 40 с.
35. СНиП 11-25-80. Деревянные конструкции.

*Александр Викторович Карельский, г. Архангельск, Россия  
Тел. моб.: +7(911)5814688; эл. почта: kaw\_79@mail.ru*

*Татьяна Павловна Журавлева, г. Архангельск, Россия  
Тел. моб.: +7(931)4032331; эл. почта: t.zhuravleva@narfu.ru*

*Борис Васильевич Лабудин, г. Архангельск, Россия  
Тел. моб.: +7(911)5540999; эл. почта: labudin@hotmail.ru*

© Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В., 2015

Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В. Испытание на изгиб деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, разрушающей нагрузкой

doi: 10.5862/MCE.54.9

## Load-to-failure bending test of wood composite beams connected by gang nail

**A.V. Karelskiy***Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia  
+79115814688; e-mail: kaw\_79@mail.ru***T.P. Zhuravleva***Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia  
+79314032331; e-mail: t.zhuravleva@narfu.ru***B.V. Labudin***Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia  
+79115540999; e-mail: labudin@hotmail.ru*

### Key words

gang nail; composite wooden beams; bending; shear; edge strain; reinforcement

### Abstract

The results of a bending test of wood composite beams connected by gang nail are presented in this paper. Two types of wood composite beams fracture were observed: brittle and ductile.

In addition, a numerical model of wood composite beams was produced and the results of the numerical investigations were analyzed. Compliance of connection «gang nail – wood» was considered by means of input elements with a reduced modulus of elasticity in the numerical model.

Then the theoretical and experimental results of stress and strain state of a composite beam with gang nail were compared. The conclusion was made about the efficiency of gang nail application for increased shear resistance of wood composite structures not only for reinforcement but also for production of new beam structures.

### References

1. Naumov A.K. Izgotovleniye derevyannykh konstruksiy, soyedinennykh metallicheskim zubchatymi plastinami [Production of wooden structures connected with gang nail]. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny*. 1976. No7. Pp. 8–10. (rus)
2. Naumov A.K. Issledovaniye nesushchey sposobnosti nagelya-zuba v soyedineniyakh derevyannykh elementov [Investigation of carrying capacity dowel-tenon in the connections of wooden elements]. *Vtoraya nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh Volgo-Vyatskogo regiona. Yoshkar-Ola* [Second Scientific Conference of Young Scientists of the Volga-Vyatka region. Yoshkar-Ola]. 1973. Pp. 16–17. (rus)
3. Naumov A.K. *Issledovaniye soyedineniy legkikh derevyannykh nesushchikh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh* [Investigation of connections with gang nail of light wooden bearing structures]. PhD thesis. Moscow: TsNIIEPselstroy, 1975. 143 p. (rus)
4. Tsepayev V.A. Dlitelnaya prochnost soyedineniy derevyannykh elementov na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Long-time strength of gang nail connections of wooden structures]. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny*. 1980. No. 9. P. 10. (rus)
5. Tsepayev V.A. *Issledovaniye dlitelnoy prochnosti i deformativnosti soyedineniy elementov derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh* [Investigation of long-time strength and deformability of gang nail connections of wooden structures]. PhD thesis. Moscow, 1982. 180 p. (rus)
6. Tsepayev V.A. Prognozirovaniye deformativnosti soyedineniy derevyannykh elementov na metallicheskih zubchatykh plastinakh dlya zadannogo sroka sluzhby konstruksiy [Deformability prediction of gang nail connections of wooden elements for a given service life of structures]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura*. 1985. No. 6. Pp. 18–21. (rus)
7. Tsepayev V.A. Raschet soyedineniy derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh po deformatsiyam s uchetom faktora vremeni [Strain calculation of gang nail connections of wooden structures considering the time effect]. *News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture*. 1984. No. 8. Pp. 9–13. (rus)
8. Tsepayev V.A., Kotlov V.G. Uchet deformativnosti soyedineniy na MZP pri raschete stroitelnykh konstruksiy [Accounting deformability of gang nail connections in the calculation of building structures]. *Issledovaniye oblegchennykh konstruksiy iz drevesiny, fanery i plastmass: Mezhvuzovskiy sbornik* [Study

Karelskiy A.V., Zhuravleva T.P., Labudin B.V. Load-to failure bending test of wood composite beams connected by gang nail

- of lightweight construction of wood, plywood and plastics: Interuniversity collection]. Leningrad, 1986. Pp. 76–79. (rus)
9. Tsepayev V.A., Kolobov M.V. Koeffitsiyenty nadezhnosti soyedineniy derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Reliability coefficients of gang nail connections of wooden structures]. *Housing Construction*. 2008. No. 5. Pp. 26–27. (rus)
  10. Kotlov V.G. *Prostranstvennyye konstruksii iz derevyannykh ferm s uzlovymi soyedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh* [The space structure of wooden trusses with gang nail joint connection]. PhD thesis abstract. Kazan, 1992. 17 p. (rus)
  11. Kotlov V.G. Opredeleniye podatlivosti, uzlovykh soyedineniy derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Compliance definition of gang nail joint connection]. *Raschet i ispytaniye metallicheskih i derevyannykh konstruksiy: Mezhvuzovskiy sbornik* [Calculation and testing of metal and wooden structures: Interuniversity collection]. Kazan, 1986. Pp. 95–97. (rus)
  12. Kritsin A.V. *Raschet skvoznykh derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh platinakh s uchedom uprugo-vyazkikh i plasticheskikh deformatsiy* [Calculation of open-work wooden structures connected with gang nail considering the elastoviscoplastic deformations]. PhD thesis abstract. Nizhniy Novgorod, 2004. 24 p. (rus)
  13. Yermolayev V.V. Avtomatizatsiya rascheta soyedineniy derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh (MZP) po deformatsiyam [Strain calculation automation of wooden structures connections with gang nail]. *Tekhnicheskiye nauki: Sbornik trudov aspirantov i magistrantov* [Engineering: Proceedings of graduate students and undergraduates]. Nizhniy Novgorod: Izd-vo NNGASU, 2005. Pp. 17–20. (rus)
  14. Yermolayev V.V., Tsepayev V.A. O raschete deformatsiy soyedineniy derevyannykh konstruksiy [About strain calculation of wooden structures connections]. *Housing Construction*. 2006. No. 6. Pp. 21–23. (rus)
  15. Yermolayev V.V., Tsepayev V.A. Raschetnyye kharakteristiki drevesiny v soyedineniyakh stroitelnykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Calculated characteristics of wood in the connections with gang nail of building structures]. *Housing Construction*. 2006. No. 2. Pp. 14–15. (rus)
  16. Yermolayev V.V. Eksperimentalnyye issledovaniya polzuchesti soyedineniy derevyannykh elementov pod uglom na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Creep experimental investigations of gang nail miter of wooden elements]. *Tekhnicheskiye nauki: Sbornik trudov aspirantov i magistrantov* [Engineering: Proceedings of graduate students and undergraduates]. Nizhniy Novgorod: Izd-vo NNGASU, 2006. Pp. 21–25. (rus)
  17. Loskutova D.V. *Prochnost i deformativnost uzlovykh soyedineniy na metallicheskih zubchatykh plastinakh v skvoznykh derevyannykh konstruksiyakh* [Strength and deformability of the gang nail joint connection of open-work wooden structures]. PhD thesis abstract. Tomsk, 2009. 24 p. (rus)
  18. Loskutova D.V. Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya drevesiny v zone kontakta s metallicheskoj zubchatoy platinoy [The stress-strain state calculation in the contact zone of wood and gang nail]. *VESTNIK of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2008. No. 3. Pp. 149–156. (rus)
  19. Loskutova D.V. Chastotno-vremennoy analiz derevyannoy fermy s soyedineniyami na MZP [Time-frequency analysis of wooden truss with gang nail connections]. *Aktualnyye problemy sovremennogo stroitelstva: Sbornik materialov 60-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Actual problems of modern construction: Proceedings of the 60th International Scientific and Technical Conference]. Saint-Petersburg: Izd-vo SPbGASU, 2007. Pp. 114–118. (rus)
  20. Loskutova D.V. Eksperimentalnyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya drevesiny v zone kontakta s nagelem [Experimental investigations of stress-strain state of wood in the dowel contact zone]. *VESTNIK of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2008. No. 1. Pp. 92–96. (rus)
  21. Loskutova D.V. Eksperimentalnyye issledovaniya uzlovykh soyedineniy derevyannykh elementov na metallicheskih zubchatykh plastinakh pri izgibe [Experimental bending investigations of the gang nail joint connection]. *VESTNIK of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2008. No. 4. Pp. 74–80. (rus)
  22. Gattesco N., Macorinib 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.
  23. Karadelis J., Brown P. Punched metal plate timber fasteners under fatigue loading. *Construction and Building Materials*. 2000. Vol. 14. Pp. 99–108.
  24. Blaß H.J., Schädle P. Ductility aspects of reinforced and non-reinforced timber joints. *Engineering Structures*. 2011. Vol. 33. Pp. 3018–3026.

Karelskiy A.V., Zhuravleva T.P., Labudin B.V. Load-to failure bending test of wood composite beams connected by gang nail

25. 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.
26. Tomoyuki H., Hikaru S., Minoru M. Rotating bending fatigue properties of timber built-joints with metal plate connectors. *Journal of the society of materials science*. 1979. No. 28. Pp. 623–628.
27. Berenyi B. Gang-Nail típusu szeglemezes fa taratoszerke. *Magyar Építőipar*. 1979. No. 5. Pp. 286–291.
28. *BSR/TPI 1-199x. National Design standard for metal plate connected wood truss construction*. Truss Plate Institute. 1992. P. 112.
29. *Connectors and metal plate fasteners for structural timber*. Timber Research and Development Association. 1996. P. 53.
30. Rysavy E. Racsos faczerkezetek Gang-Nail szeglemezes kapcsolatainak teherbirasa. *Magyar Építőipar*. 1979. No. 8. Pp. 484–486.
31. Beineke L., Suddarth S. Modeling joints made with light-gage metal connector plates. *Forest products journal*. 1979. No. 8. Pp. 39–45.
32. Svetozarova Ye.I. O napryazheniyakh v kleyedoshchatykh balkakh uvelichennoy vysoty [About stresses in glued laminated beam increased height]. *Mezhvuzovskiy tematicheskij sbornik trudov №2(140)* [Interuniversity thematic collection of works №2(140)]. Leningrad: Izd-vo LISI, 1978. Pp. 10–15. (rus)
33. Popov V.D., Serov Ye.N. Uprochneniye priopornykh zon kleyedoshchatykh balok [Strengthening of support zone of glued laminated beam]. *Mezhvuzovskiy tematicheskij sbornik trudov №2 (140)* [Interuniversity thematic collection of works №2(140)]. Leningrad: Izd-vo LISI, 1978. Pp. 15-21. (rus)
34. Rekomendatsii po proyektirovaniyu i izgotovleniyu doshchatykh konstruksiy s soyedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Regulations for the design and production of wooden structures with gang nail connections]. *TsNIISK im. V.A. Kucherenko* [Central Research Institute of Building Structures named after V.A. Kucherenko]. Moscow: Stroyizdat, 1983. 40 p. (rus)
35. *SNiP 11-25-80. Derevyannyye konstruksii* [Building code 11-25-80. Wooden structures]. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 77–85**