

УДК 624.078.4

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.95

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ КОННЕКТОРА С КЛЕЕМ И НАГЕЛЕМ

**А. О. Орлов, Б. В. Лабудин, В. С. Морозов**  
Северный (Арктический) федеральный университет  
им. М.В. Ломоносова (г. Архангельск)

На основе анализа работы соединений элементов конструкций из новых деревокомпозитных конструкционных материалов установлено, что одним из наиболее рациональных типов соединителей для узлов стержневых конструкций из древесины и деревокомпозитных материалов являются двухсторонние когтевые коннекторы. Применение таких соединителей увеличивает прочность, жесткость и сдвигоустойчивость узлов соединений деревянных конструкций.

Цель работы – исследование деформативности и прочности соединения деревянных стержневых конструкций при статическом нагружении в зависимости от типа связей. Рассмотрены два соединения: с помощью когтевого коннектора и гладкого нагеля; с помощью когтевого коннектора и клея. Задачей эксперимента является оценка деформативности и прочности соединений деревянных элементов в зависимости от применяемых типов связей. При этом изучена только работа соединений, когда вектор осевых усилий совпадает с направлением главной оси анизотропии древесины (вдоль волокон).

Выполнены лабораторные испытания на промежуточный сдвиг составных пакетов из конструкционных пиломатериалов согласно методике ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Для повышения достоверности и эффективности экспериментальных исследований проведено планирование эксперимента. Принят многофакторный метод планирования. Входными параметрами экспериментального исследования являются два фактора:  $X_1$  – количество срезов;  $X_2$  – тип связей модели. Первым выходным параметром назначается величина разрушающей нагрузки  $N_t$ , вторым – величина деформативности  $\delta$ .

Проведено сравнение экспериментальных данных с результатами компьютерного моделирования. Возможность моделирования рассматриваемых деревянных конструкций на механических связях по методу конечных элементов является корректной, так как расхождение между расчетным и численным значением находится в пределах 7 %. Рассмотренные варианты двухсрезного соединения когтевых коннекторов с использованием клея и нагеля показали, что при статическом нагружении силовое сопротивление коннектора с клеем увеличивается на 30 % (при  $\delta = 1$  мм). А деформативность соединения снижается в 2 раза (при  $N = 30$  кН).

**Ключевые слова:** древесина; когтевой коннектор; прочность; жесткость; лабораторное испытание.

**Введение.** Применение современных деревокомпозитных конструкционных материалов с новыми (повышенными) эксплуатационными характеристиками типа клееных деревянных конструкций (КДК), laminated veneer lumber (LVL), перекрестно-клееных панелей (CLT), ориентированно-стружечных плит (OSB) др. позволяет разрабатывать новые конструктивные решения стержневых конструкций.

Для обеспечения надежной работы узловых соединений этих конструкций применяются различные виды соединений: вклеенные и ввинченные стержни, нагельные группы, зубчатые пластины, зубчатые шпонки, клей и др. Широкое применение получили соединения на упруго-деформируемых связях. Вопросами исследования этих соединений деревянных конструкций занимались М. В. Арискин, П. А. Дмитриев, В. Г. Котлов, В. М. Коченов,

В. Г. Леннов, В. Г. Миронов, А. К. Наумов, Ю. В. Пискунов, П. Н. Смирнов, С. Б. Турковский, А. А. Погорельцев, К. W. Johansen, G. Pirnbacher, H. Riberholt, С. Malinowski и др. [1-14].

С учетом уже накопленного опыта установлено, что одним из наиболее рациональных типов соединителей для узловых соединений стержневых конструкций из древесины и деревокомпозитных материалов являются когтевые коннекторы, в том числе типа «Bulldog» и Леннова [15].

Ранее нами рассмотрены зависимости прочности и жесткости соединения от величины угла заострения зуба коннектора [16].

**Целью** исследования является оценка деформативности и прочности соединения деревянных стержневых конструкций при статическом нагружении от типа связей (когтевой коннектор и нагельный стержень, когтевой коннектор и клей).

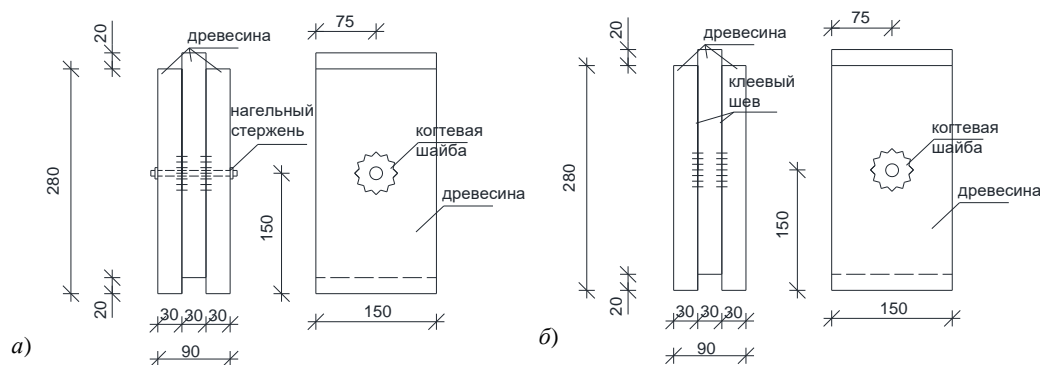
**Задача** эксперимента – получение достоверных значений деформативности и прочности соединений деревянных элемен-

тов в зависимости от применяемых типов связей: с помощью когтевых коннекторов и нагельного стержня; с помощью когтевых коннекторов и клея. При этом рассмотрим только работу соединений, когда вектор осевых усилий совпадает с направлением главной оси анизотропии древесины (вдоль волокон).

**Объект и методы исследования.** Лабораторные испытания на промежуточный сдвиг приведены согласно методике ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [17]. В качестве образцов для испытания приняты составные пакеты из конструкционных пиломатериалов I сорта по ГОСТ 16483.0-89. Испытывался один вид соединений – двухсрезные с промежуточным «срезом», где термин срез – понятие условное (рис. 1).

Рассмотрены два варианта исполнения соединения элементов:

- а) с запрессованным когтевым коннектором и клеевой прослойкой;
- б) с запрессованным когтевым коннектором и стальным нагельным стержнем.



**Рис. 1. Схемы двухсрезных образцов:**  
а – с когтевым коннектором и нагелем; б – с когтевым коннектором и швом из клея

При проведении разведочных (предварительных) испытаний образцов до разрушения нагрузка прикладывалась ступенями с шагом 5 кН и измерялись сдвиговые деформации  $\delta$  на каждой ступени. При достижении разрушающей нагрузки  $N_r$  измерялось время разрушения  $t$ .

Результаты лабораторного эксперимента анализировались стандартно – по зависимости

нагрузка-деформация. Порода древесины – сосна. Влажность образцов древесины составляла 11...12 %. Температура помещения – 20...22 °С. Испытания проводились на экспериментальной машине ИМЧ-30. Испытывались образцы со следующими средствами соединения: коннектор  $d = 50$  мм [18], клей «Эпокси-экслюзив» на основе эпоксидной смолы и отвердителя амидного типа, нагель

стальной, диаметром 16 мм.

Сопrotивление соединения сдвигу рас- считывали по формуле

$$R = \frac{N_{II}}{A}, \quad (1)$$

где  $N_{II}$  – несущая способность соединения, кН;

$A$  – площадь соединения, см<sup>2</sup>.

Несущая способность испытываемого со- единения определяли с учетом длительных воздействий:

$$N_{II} = \frac{N_t}{k_n}, \quad (2)$$

где  $N_t$  – разрушающее усилие, кН;

$k_n$  – коэффициент надежности соединения.

Коэффициент надежности узлового со- единения определяли по формуле

$$k_n = 1,54 \cdot (1,61 - 0,094 \cdot \lg t), \quad (3)$$

где  $t$  – приведенная к неизменному действию разрушающего усилия  $N_t$  продолжительность

нагружения до разрушения, с:

$$t = \frac{n^2 t'}{38,2};$$

$n$  – число ступеней нагружения;

$t'$  – продолжительность нагрузки на по- следней ступени, с.

Податливость соединений можно описать в общем виде нелинейной функцией «нагрузка–деформация»:

$$N = C \cdot \delta \pm C \cdot \delta^2 \pm \dots \pm C \cdot \delta^n, \quad (4)$$

где  $N$  – прикладываемое на образец усилие, кН;

$\delta$  – линейная деформация соединения, мм;

$C$  – коэффициент жесткости, кН/см.

### Итоги эксперимента

Результаты исследования приведены в таблице. Графические зависимости «нагрузка – деформация» для рассматриваемых соеди- нений показаны на рисунке 2.

Результаты испытаний двухсрезных образцов

Когтевой коннектор+клей		Когтевой коннектор+нагель	
Величина нагрузки, кН	Деформация соединения, см	Величина нагрузки, кН	Деформация соединения, см
0	0	0	0
5	0,004	5	0,035
10	0,012	10	0,046
15	0,022	15	0,054
20	0,053	20	0,088
25	0,076	25	0,122
30	0,098	30	0,193

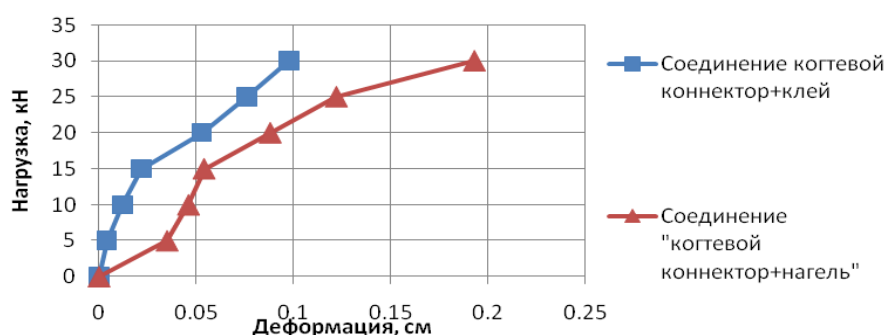


Рис. 2. Зависимость «нагрузка–деформация» для соединений «когтевой коннектор+клей», «когтевой коннектор+нагель»

Сравнение результатов показало, что для соединения «когтевой коннектор+клей» прочность увеличивается (при  $\delta = 1$  мм) примерно на 30 %, а деформативность уменьшается (при  $N = 30$  кН) примерно в 2 раза.

Для повышения достоверности и эффективности экспериментальных исследований проведено планирование эксперимента. Принят многофакторный метод планирования, входными параметрами которого являются

три фактора:  $X_1$  – количество срезов;  $X_2$  – тип связей модели. Первым выходным параметром назначается величина разрушающей нагрузки  $N_i$ , вторым – величина деформативности  $\delta_i$ .

Сравнение результатов экспериментальных данных с результатами компьютерного

моделирования приведены на рисунке 2. Возможность моделирования рассматриваемых деревянных конструкций на механических связях по методу конечных элементов является корректной, так как расхождение между расчетным и численным значениями находится в пределах 7 %.

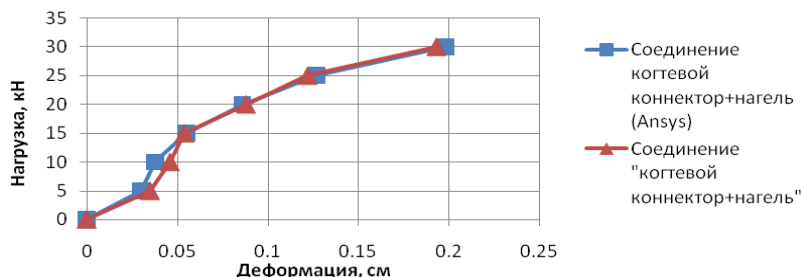


Рис. 3. Деформация соединения «когтевой коннектор и нагель»

### Выводы

1. Рассмотренные варианты двухсрезного соединения когтевых коннекторов с использованием клея и нагеля показали, что при статическом нагружении силовые сопротивления коннектора с клеем увеличивают прочность соединения на 30 % (при  $\delta = 1$  мм) и снижают деформативность соединения в два раза (при  $N = 30$  кН).

2. Для исследуемых соединений коэффициент надежности составил  $k_n = 2,2 \dots 2,3$ .

3. Расчетная жесткость таких соединений в упругой стадии в осевом направлении (вдоль волокон) составляет для коннектора с клеем  $C = 306$  кН/см, для коннектора с нагелем  $C = 160$  кН/см.

Дальнейшее направление исследований возможно с учетом длительного сопротивления, а также в условиях динамических воздействий рассматриваемых соединений при различных углах сопряжения стержневых деревянных элементов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арискин М.В. Совершенствование клеемеханических соединений деревянных конструкций с применением стальных шайб: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2011. 190 с.
2. Дмитриев П.А. Экспериментальные исследования соединений элементов деревянных конструкций на металлических и пластмассовых нагелях и теория их расчета с учетом упруговязких и пластических деформаций: дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск: НИСИ, 1975. 529 с.
3. Котлов В.Г. Пространственные конструкции из деревянных ферм с узловыми соединениями на МЗП: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Казань, 1992. 16 с.
4. Коченов В.М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций. Москва: Стройиздат, 1953. 142 с.
5. Леннов, В. Г. Штампованные когтевые шайбы как новый тип связей элементов деревянных конструкций // Труды / Горьк. инженер.-строит. институт. Горький, 1949. Вып. 1. С. 169–181.
6. 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. к Международной конф. 1–3 сент. 1992 г. Киров, 1992. С. 11–25.
7. Наумов А.К. Исследование соединений легких деревянных несущих конструкций на металлических зубчатых пластинах: дис. ... канд. техн. наук. Москва: ЦНИИЭПсельстрой, 1975. 143 с.
8. Пискунов Ю.В. Соединения типа «нагельные группы» и пути их использования для изготовления конструкций комплектной поставки // Проектирование и изготовление деревянных конструкций с соединениями на металлических нагельных пластинах и нагельных группах: сб. докл. к Международной конф. 1–3 сент. 1992 г. Киров, 1992. С. 26–34.

9. Смирнов П.Н. Торцевые нагельные соединения деревянных конструкций: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015. 219 с.
10. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции на вклеенных стержнях в современном строительстве (Система ЦНИИСК). Москва: Стройматериалы, 2012. 300 с.
11. Johansen K.W. Theory of timber connections / International Association of bridge and structural Engineering. Bern, 1949. P. 249-262.
12. Pirnbacher G. Beanspruchungs- und Optimierungspotentiale selbstbohren der Holzschrauben / Internationales Holzbau-Forum. 2009. Band 1. S. 1-18.
13. Riberholt H. Glued Bolts in Glulam // Proposals for CIB Code, Proceedings, CIB Meeting 21. Parksville, British Columbia, Canada, 1988.
14. Malonowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik – Verbinder aus Stahlblech // Bauen mit Holz. 1989. Bb. 11. S. 776-779; Bb. 12. S. 872-877.
15. Данилов Е.В. Развитие методов расчета соединений деревянных конструкций из однонаправленного клееного бруса с когтевыми шайбами: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2019. 186 с.
16. Лабудин Б.В., Морозов В.С., Орлов А.О. Компьютерный расчет напряженно-деформированного состояния узлового соединения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 3(11). С. 35-41.
17. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко. Москва, 1981. 42 с.
18. СТАДД–3.2–2011. Соединения деревянных элементов с использованием зубчатых пластин. Санкт-Петербург, 2012. 40 с.

#### Информация об авторах

ОРЛОВ Александр Олегович – аспирант кафедры строительной механики и сопротивления материалов, Высшая инженерная школа Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. Научные интересы – соединения элементов деревянных конструкций посредством когтевых коннекторов. Автор 9 публикаций. E-mail: sasha.orlo@gmail.com

ЛАБУДИН Борис Васильевич – доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО НПиПКЦ «Архангельские реставрационные мастерские», г. Архангельск. Научные интересы – совершенствование конструктивных решений и методов расчёта большепролетных пространственно-регулярных и циклически-симметричных систем из клеёной древесины. Автор 79 публикаций. E-mail: sevned@mail.ru.

МОРОЗОВ Владимир Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и сопротивления материалов, Высшая инженерная школа Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. Научные интересы – механика мерзлых грунтов, прочностные и деформационные расчеты оснований автомобильных дорог на переувлажненных грунтах, механические свойства мерзлых торфяных грунтов. Автор 32 публикаций. E-mail: v.morozov@narfu.ru

---

UDC 624.078.4

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.95

### RESEARCH INTO THE STRENGTH AND RIGIDITY OF THE CLAW CONNECTOR USING GLUE AND DOWEL

**A. O. Orlov, B. V. Labudin, V. S. Morozov**  
*Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk)*

The use of modern wood composite structural materials with new (enhanced) performance characteristics allows proposing new design solutions for rod structures. In order to ensure a reliable operation of the nodes in these structures, various types of joints have been used.

Relying on the existing experience, it has been established that one of the most rational types of connectors for nodal joints of rod structures made of wood and wood composite materials are claw connectors. The aim of this research is to study deformability and strength of connection in wooden rod structures with application of static loading with different types of connections: claw connectors and a dowel; claw connectors and glue. Laboratory tests have been carried out for the intermediate shift of composite wood packages according to the method of the Central Research Institute named after V.A. Kucherenko. The results of the laboratory experiment have been analyzed in a standard way taking into account load-strain relationship. The analysis of the research results proved that for the connection "claw connector and glue" strength increases while deformability decreases. Comparative analysis of experimental data and computer simulation results showed the possibility of modeling wooden structures on mechanical connections thus using a finite element method. This is possible because the difference between the calculated and numerical value does not exceed 7 %. The considered option of double-cut connection of claw connectors using glue and dowel proved that under static loading the power resistance of the connector with glue increases strength by 30 % (for  $\delta = 1$  mm) and reduces deformability by 2 times (for  $N = 30$  kN).

**Keywords:** wood; claw connector; strength; rigidity; laboratory test.

#### REFERENCES

1. Ariskin M.V. Sovershenstvovanie kleemekhanicheskikh soedineniy derevyannykh konstruktsiy s primeneniem stal'nykh shayb: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improvement of glued mechanical connections of wooden designs with application of steel washers. Cand. tech. sci. diss.], Penza, 2011, 190 p.
2. Dmitriyev P.A. Eksperimental'nye issledovaniya soedineniy elementov derevyannykh konstruktsiy na metallicheskih i plastmassovykh nagelyakh i teoriya ikh rascheta s uchedom uprugovyazkikh i lasticheskikh deformatsiy: diss. ... d-ra tekhn. nauk [Pilot studies of connections of elements of wooden designs on metal and plastic dowels and the theory of their calculation with taking into account elastoviscous and plastic deformations. Dr. tech. sci. diss.], Novosibirsk: NISI, 1975, 529 p.
3. Kotlov V.G. Prostranstvennye konstruktsii iz derevyannykh ferm s uzlovymi soedineniyami na MZP: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 [Spatial designs of wooden trusses with hubs connections on the metal nail plates: author. cand. tech. sci. of diss.: 05.23.01], Kazan, 1992, 16 p.
4. Kochenov V.M. Nesushchaya sposobnost' elementov i soedineniy derevyannykh konstruktsiy [Bearing capacity of elements and connections of wooden designs], Moscow: Stroyizdat, 1953, 142 p.
5. Lennov V.G. Shtampovannyye kogtevye shayby, kak novyy tip svyazey elementov derevyannykh konstruktsiy [Stamped washers as new type of communications of elements of wooden designs], *Trudy / Gorkovskiy inzhenerno-stroitelnyy institut* [Proceedings of Gorky Engineering Construction Institute], Gorky, 1949, No. 1, pp. 169-181.
6. Mironov V.G. Proektirovanie stroitel'nykh konstruktsiy s soedineniyami na metallicheskih nagel'nykh plastinakh v stranakh SNG [Design of building structures with connections to metal plates in the CIS countries] *Sb. dokl. k Mezhdunarodnoy konf., 1-3 sent. 1992 g. Kirov* [Collection of the reports of international conference (September, 1992, Kirov)], Kirov, 1992, pp. 11-25.
7. Naumov A.K. Issledovanie soedineniy legkikh derevyannykh nesushchikh konstruktsiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh: diss. ... kand. tekhn. nauk. [Investigation of light wooden bearing compounds structures on metal gear plates. Cand. tech. sci. diss.], Moscow: TsNIIEPselstroy [Central Research Institute of Experimental Design of Rural Construction], 1975, 143 p.
8. Piskunov Iu.V. Soedineniya tipa "nagelnye gruppy" i puti ikh ispol'zovaniya dlya izgotovleniya konstruktsiy komplektnoy postavki [Connections like "dowel groups" and ways of their use for production of designs of complete delivery], *Sb. dokl. k Mezhdunarodnoy konf., 1-3 sent. 1992, g. Kirov* [Collection of the reports of international conference, September, 1992, Kirov], Kirov, 1992, pp. 26-34.
9. Smirnov P.N. Tortsevye nagelnye soedineniya derevyannykh konstruktsiy: dis. ... kand. tekhn. nauk [Sidewall surfacedowel connections of wooden designs. Cand. tech. sci. diss.], Moscow, 2015, 219 p.
10. Turkovskiy S.B., Pogoreltsev A.A., Preobrazhenskaya I.P. Kleenyye derevyannyye konstruktsii na vkleennykh sterzhnyakh v sovremennom stroitel'stve (Sistema TsNIISK) [Glued wooden designs on the pasted cores in modern construction (The central scientific research institute system)]. Moscow: Stroymaterialy [Building materials], 2012, 300 p.
11. Johansen K.W. Theory of timber connections, International Association of bridge and structural Engineering, Bern, 1949, pp. 249-262.

12. Pirnbacher G. Beanspruchungs- und Optimierungspotentiale selbstbohren der Holzschrauben, *Internationales Holzbau-Forum*, 2009, Band 1, S. 1-18.
13. Riberholt H. Glued Bolts in Glulam, Proposals for CIB Code, *Proceedings, CIB Meeting 21*. Parksville, British Columbia, Canada, 1988.
14. Malonowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik – Verbinder aus Stahlblech, *Bauen mit Holz*, 1989, Bb. 11, S. 776-779; Bb. 12, S. 872-877.
15. Danilov E.V. Razvitiye metodov rascheta soedinenii derevyannykh konstruksiy iz odnonapravlenno go kleenogo brusa s kogtevyymi shaybami: dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of methods of calculation of wooden design from the unidirectional glued bar with washers. Cand. tech. sci. diss.], Sankt-Peterburg, 2019, 186 p.
16. Labudin B.V., Morozov V.S., Orlov A.O. Komp'yuternyy raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya uzlovogo soedineniya [Computer calculation of stress-strain state of node connection], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies], 2019, No. 3(11), pp. 35-41. (In Russ.)
17. Rekomendatsii po ispytaniyu soedineniy derevyannykh konstruksiy, TsNIISK im. Kucherenko [Recommendations for the use of connected wooden structures], Moscow, 1981, 42 p.
18. StADD-3.2-2011. Soedineniya derevyannykh elementov s ispol'zovaniem zubchatykh plastin [Joints of wooden elements with using toothed plates], Sankt-Peterburg, 2012, 40 p.

#### Information about the authors

ORLOV Alexandr Olegovich – postgraduate student of the Department of Structural Mechanics and Resistance of Materials, Higher Engineering School of the Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk. Research interests – connection of elements of wooden structures through claw connectors. Author of 9 publications. E-mail: sasha.orlo@gmail.com

LABUDIN Boris Vasilevich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director General of NPIPKT's Arkhangelsk Restoration Workshops LLC, Arkhangelsk. Research interests – improvement of design solutions and methods for calculating long-span spatially regular and cyclically symmetric systems of laminated wood. Author of 79 publications. E-mail: sevned@mail.ru.

MOROZOV Vladimir Stanislavovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Structural Mechanics and Materials Resistance, Higher Engineering School of the Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk. Research interests – mechanics of frozen soils, strength and deformation calculations of the foundations of roads on wetlands, mechanical properties of frozen peat soils. Author of 32 publications. E-mail: v.morozov@narfu.ru.

#### Библиографическая ссылка

Орлов А. О., Лабудин Б. В., Морозов В. С. Исследование прочности и жесткости коннектора с клеем и нагелем // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 4(12). – С. 95-101. – DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.95