



УДК: 694.14

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.7

EDN: IAWOPI



Эффективность применения в соединениях деревянных конструкций клеенных резьбовых шайб

И.В. Ванин¹, М.В. Арискин¹

¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза, Российская Федерация

Аннотация. Первичные исследования показали, что в соединениях деревянных конструкций на резьбовых шайбах происходит преждевременное разрушение клевого шва и отрыв шайб от деревянного элемента, вследствие действия усилий, направленных из плоскости шайб. Данные усилия предложено компенсировать с помощью дополнительного обжатия узла соединения накладками, плотно прилегающими к соединенным элементам узла. Цель исследования – изучение работы соединения деревянных конструкций на клеенных резьбовых шайбах при обжатии узла стальными накладками. Задачи исследования - провести экспериментальное исследование серий образцов для определения разрушающих нагрузок и предельных деформаций, исследовать характер разрушения образцов соединения, определить целесообразность применения данного вида соединения в деревянных конструкциях.

Результаты. В целях исследования характера работы рассматриваемого соединения проведены экспериментальные исследования серии образцов. Определены разрушающие нагрузки, построены графики деформаций. Исследованы факторы, влияющие на разрушающую нагрузку и механизм разрушения образцов, проведен анализ эффективности применения альтернативных способов восприятия распора шайб в узле соединения.

Выводы. Испытания показали общую неэффективность обжатия узла соединения стальными накладками. Так как другие способы восприятия распора в шайбах приведут к значительному увеличению сложности изготовления и сборки соединения, сделан вывод о неэффективности применения клеенных резьбовых шайб в соединениях деревянных конструкций. Анализ результатов исследований выявил возможность применения завинчиваемых резьбовых шайб без применения клеевой композиции, что значительно сократит время изготовления конструкции.

Ключевые слова: соединения деревянных конструкций, клеенная резьбовая шайба, распор шайб, обжатие накладками, разрушающая нагрузка

Для цитирования: Ванин И.В., Арискин М.В. Эффективность применения в соединениях деревянных конструкций клеенных резьбовых шайб // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), с. 63-70, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.7, EDN: IAWOPI

The effectiveness of the use of glued threaded washers in the joints of wooden structures

I.V. Vanin¹, M.V. Ariskin¹

¹Penza State University of Architecture and Construction,
Penza, Russian Federation

Abstract. Primary studies have shown that in the joints of wooden structures on threaded washers premature destruction of the adhesive seam occurs and the washers detach from the wooden element, due to the action of forces directed from the plane of the washers. It is proposed to compensate for these forces by additional compression of the junction node with

overlays that are tightly adjacent to the connected elements of the node. The purpose of the research is to study the work of connecting wooden structures on glued threaded washers when compressing a node with steel linings. The objectives of the study are to conduct an experimental study of a series of samples to determine destructive loads and extreme deformations, to investigate the nature of the destruction of joint samples, to determine the feasibility of using this type of joint in wooden structures.

Results. In order to study the nature of the work of the joint in question, experimental studies of a series of samples were carried out. Destructive loads are determined, deformation graphs are constructed. The factors influencing the destructive load and the mechanism of destruction of samples are investigated, the analysis of the effectiveness of the use of alternative methods of perception of the expansion of washers in the junction node is carried out.

Conclusions. Tests have shown the general inefficiency of compression of the junction with steel plates. Since other ways of perceiving the spacer in washers will lead to a significant increase in the complexity of manufacturing and assembling the joint, it is concluded that the use of glued threaded washers in joints of wooden structures is ineffective. The analysis of the research results revealed the possibility of using screw-on threaded washers without the use of an adhesive composition, which will significantly reduce the manufacturing time of the structure.

Keywords: joints of wooden structures, glued threaded washer, washers spacer, compression by pads, destructive load

For citation: Vanin I.V., Ariskin M.V. The effectiveness of the use of glued threaded washers in the joints of wooden structures // News KSUAE, 2024, № 1(67), p. 63-70, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.7, EDN: IAWOPI

1. Введение

Одним из актуальных направлений изучения строительных конструкций является исследование деревянных конструкций [1, 2] и их узловых соединений [3-5].

Древесина является анизотропным возобновляемым материалом, обладающим высокой прочностью и доступностью. Учитывая данные свойства, а также то, что древесина является экологически чистым и эстетичным материалом, деревянные конструкции широко используются в современном строительстве [6-8].

Широкое применение в разнообразных конструкциях в совокупности с анизотропностью материала привели к тому, что деревянные элементы в структурах зданий и сооружений должны спланироваться определенным образом в зависимости от типа конструкции, угла передачи усилий между элементами, направления волокон древесины и условий эксплуатации. В результате, в настоящее время имеется большое разнообразие соединений деревянных конструкций [9-11].

Одним из перспективных соединений деревянных конструкций является соединение с применением вклеенных стальных шайб (далее – соединение ВШ) [12]. В данной работе рассмотрена возможность усиления данного соединения путем нанесения на внутренние диаметры стальных шайб и стяжную шпильку резьбы, что должно привести к повышению жесткости соединения [13].

Соединения ВШ отличаются высокой прочностью, надежностью, технологичностью, являются сборно-разборными [12]. Однако в ряде случаев (эксцентриситет при передаче нагрузки, погрешность при вклеивании шайбы, порок древесины) возможна неравномерная передача усилий от шпильки на шайбы и, как следствие, неравномерная передача усилий от шайб на древесину, что приводит к снижению надежности и неравномерным деформациям конструкции.

При нанесении резьбы на шпильку и внутренние диаметры шайб обеспечивается совместная работа обеих шайб и шпильки за счет монолитного сцепления спиральных поверхностей данных элементов.

Таким образом, все конструктивные детали соединения ВШ (деревянный элемент, шайбы, шпилька) монолитно сопряжены между собой посредством клеевого и резьбового соединений, что приводит к повышению жесткости и надежности конструкции. Кроме

того, в случае соединения элементов через стальные накладки при полном затяжении стягивающих гаек значительно уменьшается изгибаемый пролет шпильки, что сохраняет ее от повреждений вследствие деформаций от внешних нагрузок.

В итоге, наличие резьбового соединения шпильки и шайб должно привести к значительному уменьшению деформаций соединения ВШ и увеличению его надежности. Вместе с тем, результаты исследований, приведенные в [13], показали, что усиление соединения ВШ резьбой не ведет к увеличению прочностных характеристик соединения, а, напротив, требует применения дополнительных конструктивных креплений для восприятия распора в шайбах.

Цель исследования – изучить работу соединения на клеенных резьбовых шайбах в условиях обжатия испытываемых образцов стальными накладками, воспринимающими распор шайб в узле.

Для достижения указанной цели необходимо провести экспериментальные испытания серии образцов с определением разрушающих нагрузок и предельных деформаций, исследовать характер разрушения испытываемых образцов, оценить возможность применения рассматриваемого соединения в деревянных конструкциях.

2. Материалы и методы

Для исследования соединения деревянных конструкций с применением клеенных резьбовых шайб (далее – соединение ВШР) были разработаны методика экспериментальных исследований, технология изготовления и проведены испытания серии образцов.

В методику экспериментальных исследований входят выбор параметров и материалов испытываемых образцов соединения ВШР, технология их изготовления, подбор испытательного и измерительного оборудования, определение порядка проведения эксперимента и получения результатов.

В качестве основного материала образцов выбрана древесина сосны 2-го сорта ввиду своей доступности и широкой области применения. Стальные элементы изготовлены из стали С255. Для вклеивания шайб в древесину применена клеевая композиция на основе эпоксидной смолы ЭД-20, обладающая невысокой себестоимостью и хорошей адгезией с древесиной и сталью, ввиду чего также активно применяется в строительстве.

Размеры образцов и диаметр шайб приняты, исходя из шага размещения шайб на деревянном элементе. Так, размеры деревянного образца равны 200х150х50 мм. Диаметр стальных шайб – 80 мм, толщина – 10 мм. Диаметр стяжной шпильки 20 мм.

Технология изготовления соединения ВШР включает в себя те же мероприятия, что и изготовление соединения ВШ [1, 4], но с учетом наличия резьбы на шайбах и шпильке. Резьба изготавливается с помощью токарно-фрезерного оборудования. В гнезда, предварительно выпиленные в деревянном элементе, поочередно вклеиваются стальные шайбы таким образом, чтобы совпал заход резьбы шпильки на обеих шайбах (рисунок 1).

Интервал между вклеиванием шайб составляет 1-2 дня и обусловлен застыванием эпоксидной смолы. После вклеивания шайб образцы выдерживались в течение 7 дней до достижения ими равновесной влажности древесины и набора прочности клеевого шва.

Затем образцы помещаются в испытательную установку.

Экспериментальные исследования проводились на базе лабораторий кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО «ПГУАС». Для загрузки опытных образцов использовался гидравлический пресс П-500 со встроенным оборудованием для определения вертикальных перемещений. Данные о результатах исследований (вертикальная нагрузка, деформации) записываются в журнал испытаний.

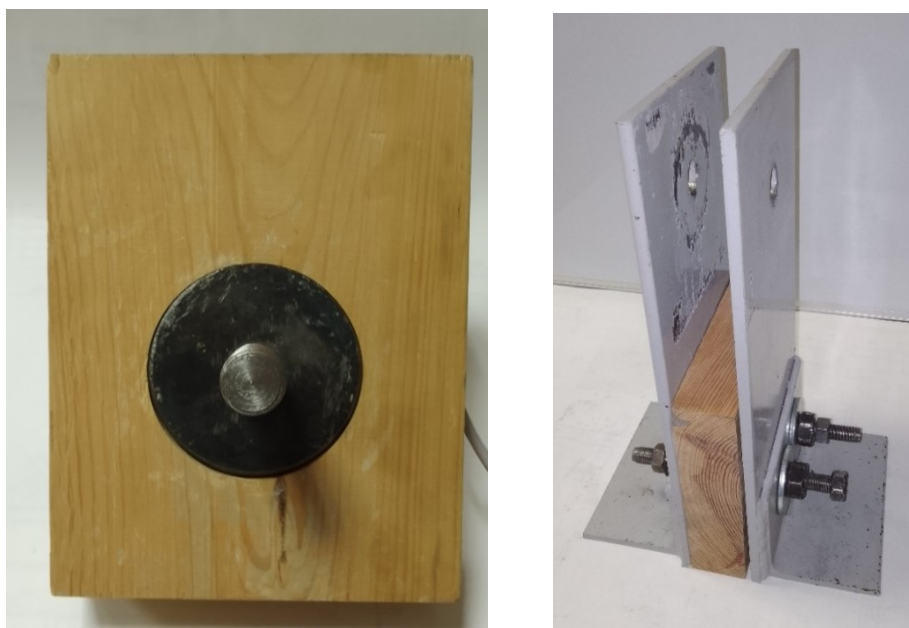


Рис. 1. Общий вид образца серии VShR 80-10 и стальных накладок (иллюстрация авторов)
Fig. 1. General view of a sample of the series of VShR 80-10 and steel linings (illustration by the authors)

Перед испытанием образец помещается в сборную стальную раму, имитирующую передачу усилий между элементами конструкции через стальные накладки. Кроме того, сборная рама позволяет дополнительно обжать образец, что должно устранить распор, возникающий в шайбах. Далее образец в стальной раме устанавливается под пресс, центрируется и обжимается до устранения зазора между образцом и верхним упором (рисунок 2).

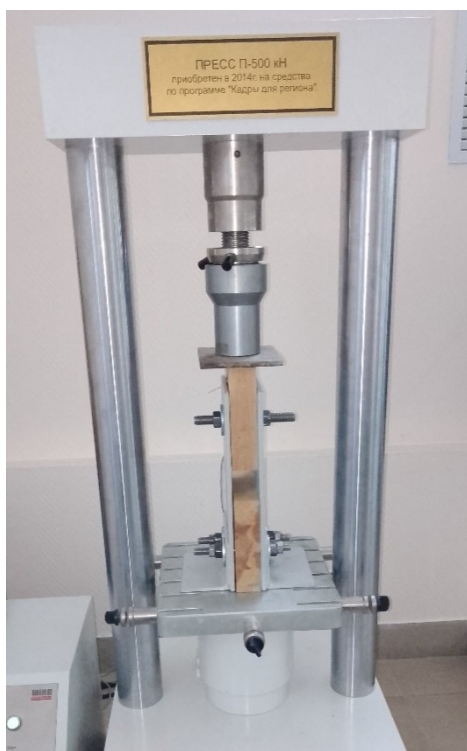


Рис. 2. Образец, готовый к испытанию (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Sample ready for testing (illustration by the authors)

Образцы испытываются воздействием кратковременной нагрузки при скорости нагружения 4 кН/мин до их разрушения. За разрушающую нагрузку принимается та, при которой значительно увеличивается рост деформаций при относительно небольшом увеличении вертикальной нагрузки.

3. Результаты и обсуждение

Разрушение образцов в ходе испытания происходило плавно, без резких щелчков в древесине вплоть до достижения разрушающей нагрузки. Вместе с тем, нагружение всех 3-х образцов сопровождалось постоянным похрустыванием, свидетельствующем о разрушении клевого шва, что, однако, не приводило к преждевременному разрушению всего образца. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов соединения ВШР

№ п/п	Марка образца	Разрушающая нагрузка, кН	Вертикальные перемещения, мм
1	ВШР-80-10-1	61,75	2,6
2	ВШР-80-10-2	63,77	1,27
3	ВШР-80-10-3	70,7	1,82

Также, по результатам испытаний построены графики деформаций образцов (Рисунок 3).

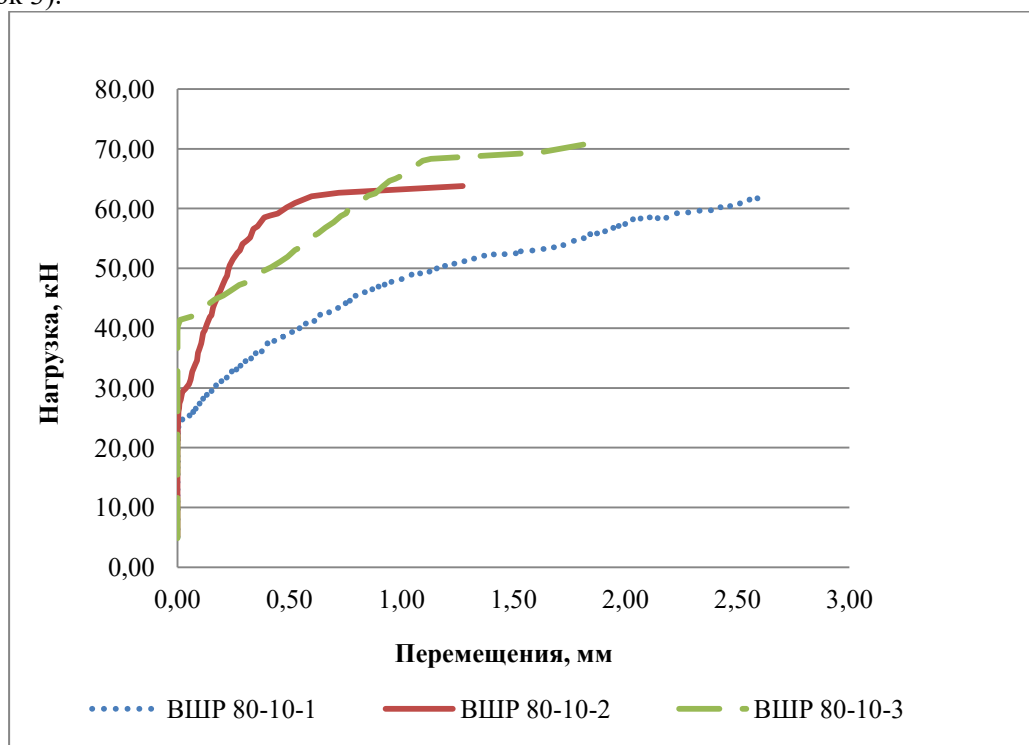


Рис. 3. Графики деформаций образцов серии ВШР 80-10 (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Graphs of deformations of samples of the VShR 80-10 series (illustration by the authors)

Разрушение образцов произошло вследствие смятия древесины под торцами шайб, что возможно только после отрыва шайб от деревянного элемента. Как показали исследования [12, 14, 15] клеевая композиция на основе эпоксидной смолы ЭД-20 обладает высокой степенью адгезии, в результате чего отрыв шайбы от деревянного элемента происходит вследствие скалывания древесины под поверхностью шайбы. Однако, как видно из рисунка 4 смещение шайбы произошло без скалывания древесины под её поверхностью. Вместе с тем, осмотр клеевой прослойки позволяет сделать вывод о том, что под нижней половиной поверхности шайбы на клеевой шов действовали усилия, направленные из плоскости шва. Об этом говорит характерная сеть трещин на застывшей клеевой композиции (под нижней половиной шайбы).

Подобное явление объясняется тем, что шайбы монолитно связаны резьбой со шпилькой, которая в процессе нагружения изгибается. В соответствии с изгибом шпильки происходит поворот шайб и их постепенный отрыв от деревянного образца.

Образцы после испытаний представлены на рисунке 4.

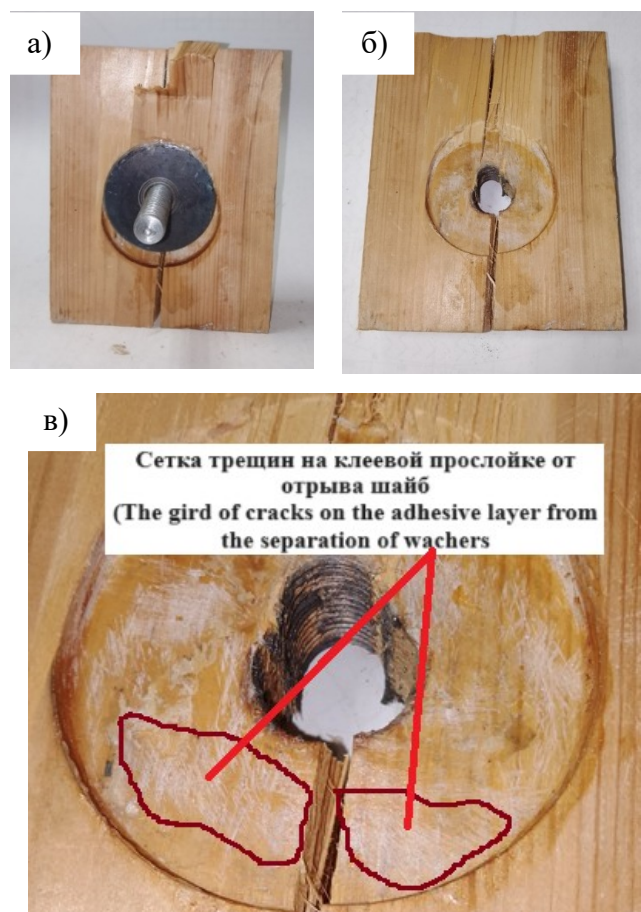


Рис. 4. Образцы после разрушения (иллюстрация авторов)

- а – общий вид разрушенного образца;
- б – деревянный элемент образца после разрушения;
- в – сетки трещин под клеенной шайбой

Fig. 4. Samples after destruction (illustration by the authors)

- a – a general view of the destroyed sample;
- b – a wooden element of the sample after destruction;
- c – a grid of cracks under the glued washer

В [13] было предложено решить данную проблему с помощью дополнительных конструктивных средств, обеспечивающих восприятие распора в шайбах. Наиболее рациональным решением является применение сборной рамы, которая дает возможность обжать образец и зафиксировать шайбы от их поворота. Вместе с тем, проведенное испытание серии ВШР 80-10 показало, что данных мероприятий для устранения распора в шайбах недостаточно. Применение других конструктивных средств (фиксация шайб нагелями, обоймами и т.п.) повлечет за собой серьезное снижение технологичности изготовления соединения.

Также, стоит отметить, что при вклеивании резьбовых шайб невозможно осуществить их затяжку. После разрушения клеевого шва усилия на деревянный элемент передаются только через ребра шайб. Затяжение шайб в образце может повлиять на несущую способность соединения, что подводит к рассмотрению варианта применения не вклеиваемых резьбовых шайб.

4. Заключение

Экспериментальное исследование соединения на вклеенных резьбовых шайбах на примере испытания образцов серии ВШР 80-10 показало, что комбинирование резьбового и клеевого соединений для фиксации стальных шайб и передачи нагрузок между элементами не ведет к увеличению жесткости и несущей способности соединения из-за преждевременного отрыва шайб от деревянного элемента вследствие распора. Кроме

того, вклеивание резьбовых шайб с обеспечением совпадения захода резьбы на обеих шайбах значительно снижает технологичность изготовления конструкции. В совокупности с применением дополнительных средств для восприятия распора трудоемкость сборки рассматриваемого соединения значительно увеличивается.

Таким образом, применение соединения деревянных конструкций на вклеенных резьбовых шайбах является нецелесообразным. Вместе с тем, возможно рассмотреть применение соединения деревянных конструкций на резьбовых шайбах без применения клеевой композиции, прочность и жесткость которого планируется обеспечить за счет затяжения шайб. Кроме того замена вклеивания шайб их завинчиванием значительно снизит сроки изготовления конструкции.

Список литературы / References

1. Фурман, Е.А., Симонова, Я.Е. Строительство складов хранения угля и минеральных удобрений с применением большепролетных клееных деревянных конструкций // В сборнике: Инновации в деревянном строительстве. Материалы 12-й Международной научно-технической конференции. - Санкт-Петербург. - 2023. - С. 214-218. [Furman, E.A., Simonova, Y.E. Construction of coal and mineral fertilizer storage warehouses using large-span glued wooden structures // In the collection: Innovations in wooden construction. Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference. - St. Petersburg. - 2023. - P. 214-218.]
2. Сибен, А.В. Клеёные деревянные конструкции в строительстве: эффективность и проблемы применения // В сборнике: Новые технологии - нефтегазовому региону. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В IV томах. – Тюмень. - 2022. - С. 180-183. [Siben, A.V. Glued wooden structures in construction: efficiency and application problems // In the collection: New technologies for the oil and gas region. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists. In IV volumes. – Tyumen. - 2022. - P. 180-183.]
3. Koshcheev, A., Roshchina, S., Lukin, M., Vatin, N. Wood and Steel Rope: A Rational Combination in Floor Beams. // DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_40.
4. Lukin, M., Chibrikin, D., Roshchina, S. Numerical studies of modified composite beams taking into account the physical nonlinearity of wood // News of higher educational institutions. Construction. – 2023. - № 5-19. DOI 10.32683/0536-1052-2023-773-5-5-19.
5. Orlov, A.O., Rimshin, V.I., Labudin, B.V., Melekhov, V.I., Kurbatov, V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings // ARPN Journal of engineering and applied sciences, vol. 13, № 11, 2018. P. 3851-3856.
6. Калашник Д.К., Мироненко О.В. Деревянная архитектура - тренд XXI века // Актуальные вопросы современной науки. - 2019. - № 4 (24). - С. 53-59. [Kalashnik D.K., Mironenko O.V. Wooden architecture - the trend of the XXI century // Current issues of modern science. - 2019. - № 4 (24). - P. 53-59.]
7. Švajlenka, J., Kozlovská, M. Factors Influencing the Sustainability of Wood-Based Constructions' Use from the Perspective of Users // Sustainability. – 2021. - № 13(23) - DOI 10.3390/su132312950.
8. Švajlenka, J., Maroušková, A. Preproduction of wooden buildings makes them a promising tool for carbon sequestration // Clean Technologies and Environmental Policy. -2023. - DOI 10.1007/s10098-023-02471-w.
9. Мартышкин, Д.О., Вдовин, В.М. Цельнодеревянные фермы с узловыми соединениями на вклеенных шайбах // в сборнике: Эффективные строительные конструкции: теория и практика. сборник статей XIX Международной научно-технической конференции. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. - 2019. - С. 29-33. [Martyshkin, D.O., Vdovin, V.M. Solid-wood trusses with nodal connections on glued washers // in the collection: Effective building structures: theory and practice. collection of articles of the XIX

- International Scientific and Technical Conference. Penza State University of Architecture and Construction. - 2019. - P. 29-33.]
10. Мухаев, А.И., Вдовин, В.М. Работа соединения на центровых клеенных кольцевых шпонках при передаче ими нагрузки под углом к волокнам древесины // Региональная архитектура и строительство. - 2012. - № 2. - С. 102-106. [Mukhaev, A.I., Vdovin, V.M. The work of the connection on the center glued ring dowels when they transfer the load at an angle to the wood fibers // Regional architecture and construction. - 2012. - No. 2. - P. 102-106.]
 11. Попов, Е.В., Лабудин, Б.В., Мелехов, В.И., Рощина, С.И., Римшин, В.И. Соединения элементов деревянных конструкций на шпонках и шайбах // Вестник МГСУ – Москва, 2016. – №9. с. 35–50. [Popov, E.V., Labudin, B.V., Melekhov, V.I., Roshchina, S.I., Rimshin, V.I. Connections of elements of wooden structures on dowels and washers // Vestnik MGSU – Moscow, 2016. – No. 9. P. 35-50.]
 12. Арискин, М.В., Вдовин, В.М. Несущая способность соединений на клеенных шайбах при передаче усилий вдоль волокон древесины // Приволжский научный журнал. – 2009. - № 4. – С. 21-27. [Ariskin, M.V., Vdovin, V.M. Bearing capacity of joints on glued washers when transferring forces along wood fibers // Volga Scientific Journal. – 2009. - No. 4. – P. 21-27.]
 13. Ванин И.В., Арискин М.В. Соединение деревянных конструкций с применением клеенных стальных шайб с внутренней резьбой // Вестник НИЦ «Строительство». – 2022. - 35(4) – С. 30-39 [Vanin I.V., Ariskin M.V. Connection of wooden structures using glued steel washers with internal thread // Bulletin of SIC "Construction". – 2022. - 35(4) – P. 30-39]
 14. Строганов, В.Ф., Вдовин, Е.А., Строганов, И.В. Влияние строения гетероциклических мономеров на теплостойкость эпоксидных клеев // Клеи. Герметики. Технологии. - 2023. - № 4. - С. 22-25. [Stroganov, V.F., Vdovin, E.A., Stroganov, I.V. Influence of the structure of heterocyclic monomers on the heat resistance of epoxy adhesives // Glues. Sealants. Technologies. - 2023. - No. 4. - P. 22-25.]
 15. Хозин, В.Г., Гиздатуллин, А.Р., Боровских, И.В., Мирсаяпов, И.Т., Яруллин, Р.Р. Совместная работа эпоксидного композита и защитного покрытия с цементным бетоном в зоне их адгезионного контакта // Строительные материалы. - 2023. - № 4. - С. 24-31. [Khozin, V.G., Gizdatullin, A.R., Borovskikh, I.V., Mirsayapov, I.T., Yarullin, R.R. Joint work of epoxy composite and protective coating with cement concrete in the area of their adhesive contact // Building materials. - 2023. - No. 4. - P. 24-31.]

Информация об авторах

Ванин Илья Владимирович, аспирант, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация
E-mail: ya.vanin94@yandex.ru

Арискин Максим Васильевич, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация
E-mail: m.v.ariskin@mail.ru

Information about the authors

Ilya V. Vanin, Postgraduate student, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation
E-mail: ya.vanin94@yandex.ru

Maxim V. Ariskin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation
E-mail: m.v.ariskin@mail.ru