

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 694:69.07

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.387-393

## Разработка конструктивного решения сопряжений колонн и ригелей из древесины на металлических накладках и шурупах

Максим Александрович Дежин, Александр Майорович Ибрагимов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Актуальным является вопрос развития конструктивных решений соединений деревянных элементов, в частности сопряжений колонн и ригелей. Рассмотрены преимущества и особенности основных существующих способов соединения деревянных колонн и ригелей.

**Материалы и методы.** По характеру разрушения ранее испытанных образцов соединений деревянных элементов на накладках одного из производителей установлено, что определяющим фактором разрушения образцов стало недостаточное значение усилия отрыва накладки от деревянного элемента и несовершенство конструкции накладок. Предложено увеличить несущую способность и снизить деформативность соединений путем модификации соединений с внедрением эпоксидной смолы между шурупом и древесиной и между накладкой и торцом деревянного элемента, к которому она закреплена, и модификации конструкции накладок.

**Результаты.** Разработано конструктивное решение сопряжений деревянных колонн и ригелей, обладающее повышенной надежностью по сравнению с изученными соединениями и лишенное их недостатков. Этот результат достигнут за счет наличия клеевого слоя между шурупом и древесиной, а также между накладкой и деревянным элементом; выполнения насечек на сторонах накладок, крепящихся к деревянным элементам; увеличенной длины шурупов, ввинчиваемых в накладку с пазом, по сравнению с длиной шурупов, ввинчиваемых в накладку с шипом; размещения отверстий под шурупы под углом 90° к поверхности накладки, в которую закручиваются шурупы; большой степени расширения в форме клина поперечных сечений шипа и паза накладок в продольном направлении приложения нагрузки к соединению; отсутствия контакта шипа и паза накладок в нижних их частях.

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют расширить номенклатуру соединений деревянных элементов и повысить надежность конструирования конструкций на основе деревянных элементов с использованием металлических накладок. Разработанный узел соединения может быть применен при строительстве, реконструкции и реставрации деревянных зданий и сооружений различного назначения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** древесина, соединение деревянных элементов, деревянные колонны, деревянные балки, металлические накладки, шурупы, огнезащита соединения, повышение надежности

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам, кафедре металлических и деревянных конструкций и НИУ МГСУ.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Дежин М.А., Ибрагимов А.М. Разработка конструктивного решения сопряжений колонн и ригелей из древесины на металлических накладках и шурупах // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 3. С. 387–393. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.387-393

**Автор, ответственный за переписку:** Максим Александрович Дежин, maksim1403@yandex.ru.

## Development of a constructive solution of wood columns and crossbars interfaces on metal overlays and screws

Maxim A. Dezhin, Aleksandr M. Ibragimov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The paper discusses the advantages and features of the main existing methods of connecting wooden columns and crossbars.

**Materials and methods.** It was proposed to increase the load-bearing capacity and reduce the deformability of joints by modifying the joints with the introduction of epoxy resin between the screw and the wood and between the overlay and the end of the wooden element to which it is attached and modifying the design of the overlays.

**Results.** As a result, a constructive solution for connecting wooden columns and crossbars was developed, which has increased reliability compared to the studied connections and is free of their disadvantages. This result was achieved due to the presence of an adhesive layer between the screw and the wood, as well as between the overlay and the wooden element, the making of notches on the sides of the overlays attached to the wooden elements, the increased length of the screws screwed into the overlay with a groove, compared to the length of the screws screwed into an overlay with a tenon, placement of holes for screws at an angle of 90° to the surface of the overlay into which the screws are screwed.

**Conclusions.** An urgent issue is the development of constructive solutions for connections of wooden elements, in particular the interfaces of columns and crossbars. The paper discusses the advantages and features of the main existing methods of connecting wooden columns and crossbars.

**KEYWORDS:** wood, connection of wooden elements, wooden columns, wooden beams, metal overlays, screws, fire protection of the connection, open connection, concealed connection, increased reliability

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude to the anonymous reviewers, the Department of Metal and Wooden Structures and the Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU).

**FOR CITATION:** Dezhin M.A., Ibragimov A.M. Development of a constructive solution of wood columns and crossbars interfaces on metal overlays and screws. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(3):387-393. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.387-393 (rus.).

*Corresponding author:* Maxim A. Dezhin, maksim1403@yandex.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существуют разнообразные варианты соединений деревянных элементов строительных конструкций. Актуальным является вопрос развития конструктивных и технологических решений соединений деревянных элементов, в частности сопряжений колонн и ригелей. Опираясь на мировой опыт соединений деревянных колонн и ригелей, можно сделать вывод, что в большинстве случаев для таких целей используются заводского изготовления уголки или опоры бруса раскрытого или закрытого типов различных вариантов исполнения и форм [1–3]. Основной недостаток таких способов соединения рассматриваемых элементов — невозможность выполнить его полностью скрытым. Это приводит к отсутствию огнезащиты соединительных элементов и требует дополнительных мер отделки несущих конструкций с эстетической целью.

Цель работы — разработка узлового сопряжения деревянных колонн и ригелей, обладающего повышенной надежностью по сравнению с изученными соединениями и лишенного их недостатков.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По характеру разрушения ранее испытанных образцов соединений деревянных элементов на ме-

таллических накладках одного из производителей было установлено, что определяющим фактором разрушения образцов стало недостаточное значение усилия отрыва металлической накладки от деревянного элемента вследствие малого значения усилия на выдергивание, которое могли выдержать шурупы и несовершенство конструкции накладок (в отдельных областях наблюдалось значительное их смятие по причине неправильного распределения нагрузок в местах контакта пары соединяемых накладок) [4–8]. Это отражено на рис. 1–3.

По результатам испытаний было предложено несколько способов увеличения несущей способности и снижения деформативности соединений деревянных элементов с применением металлических накладок. Первый способ предполагает достижение этой цели путем увеличения значения усилия отрыва металлической накладки от деревянного элемента за счет модификации соединений с внедрением эпоксидной смолы между шурупом и древесиной и между металлической накладкой и торцом деревянного элемента, к которому она закреплена. Второй способ представляет собой увеличение несущей способности и снижение деформативности соединений путем модификации конструкции металлических накладок для правильного распределения прикладываемых к соединению нагрузок в соединении



Рис. 1. Общий вид образца

Fig. 1. General view of the specimen



Рис. 2. Образец после испытаний

Fig. 2. Specimen after testing

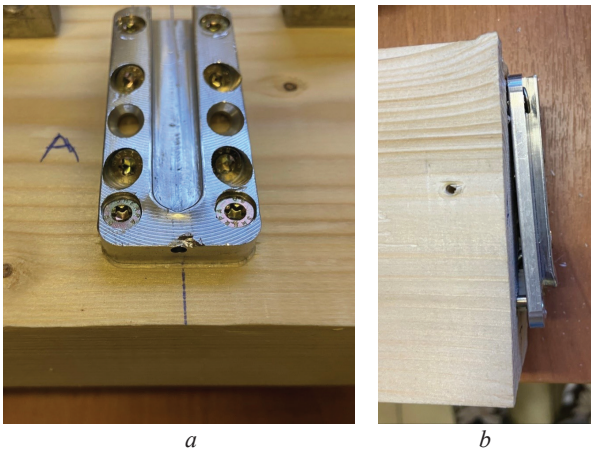


Рис. 3. Смятие контактных зон: *a* — накладки с пазом; *b* — накладки с шипом

Fig. 3. Collapse of contact areas: *a* — lining with groove; *b* — lining with tenon

накладок и передачи нагрузок от одного элемента к другому в соединяемых накладках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе анализа ранее рассмотренных способов соединений деревянных колонн и ригелей, других менее распространенных способов соединений таких элементов, проведенных экспериментальных исследований и изученной литературы разработано конструктивное решение сопряжений деревянных колонн и ригелей на основе металлических накладок, обладающее повышенной надежностью по сравнению с изученными соединениями и лишенное их недостатков [9–20]. Эти результаты были достигнуты благодаря конструкции накладок, отсутствию контакта шипа и паза накладок в ниж-

них их частях, выполнению насечек на сторонах металлических накладок, крепящихся к деревянным элементам, и, как следствие, увеличению коэффициента трения поверхностей; а также тому, что: поперечные сечения шипа и паза накладок имеют большую степень расширения в форме клина в продольном направлении приложения нагрузки к соединению; длина шурупов, ввинчиваемых в накладку с пазом, больше длины шурупов, ввинчиваемых в накладку с шипом; все отверстия под шурупы размещены под углом 90° к поверхности накладки, в которую закручиваются шурупы. Поставленной цели удастся добиться и благодаря равномерному по высоте и глубине отверстия импрегнированию древесины клеевыми составами в районе резьбы шурупа и за ее пределами вследствие увеличения рабочей зоны шурупа; повышению степени сцепления шурупов со стенками отверстий; нивелированию возможных нарушений структуры древесины в пределах резьбового соединения; образованию после полимеризации клея модифицированного слоя древесины с повышенными физико-механическими характеристиками гнезд древесины вокруг шурупов — наиболее напряженной зоне соединения; увеличению глубины пропитки древесины вокруг шурупа из-за создания в момент ввинчивания шурупов давления на находящийся в отверстиях клей и вдавливания его в стенки отверстий; внедрению в конструкцию соединения клеевого слоя между задней поверхностью металлической накладки и деревянным элементом.

Общий вид разработанного узла соединения показан на рис. 4, 5. Узел представляет собой разъемное соединение колонн и ригелей из клееной древесины, состоящее из колонны, ригеля и со-

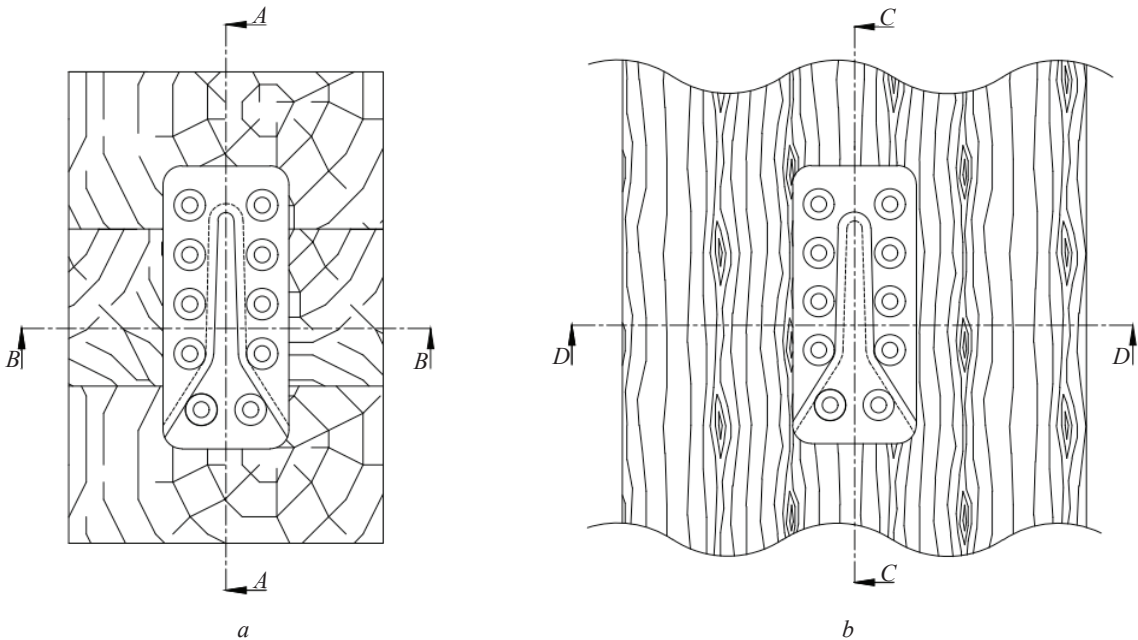


Рис. 4. Схема расположения металлической накладки: *a* — на ригеле; *b* — на колонне

Fig. 4. Layout of the metal overlay: *a* — on the crossbar; *b* — on the column



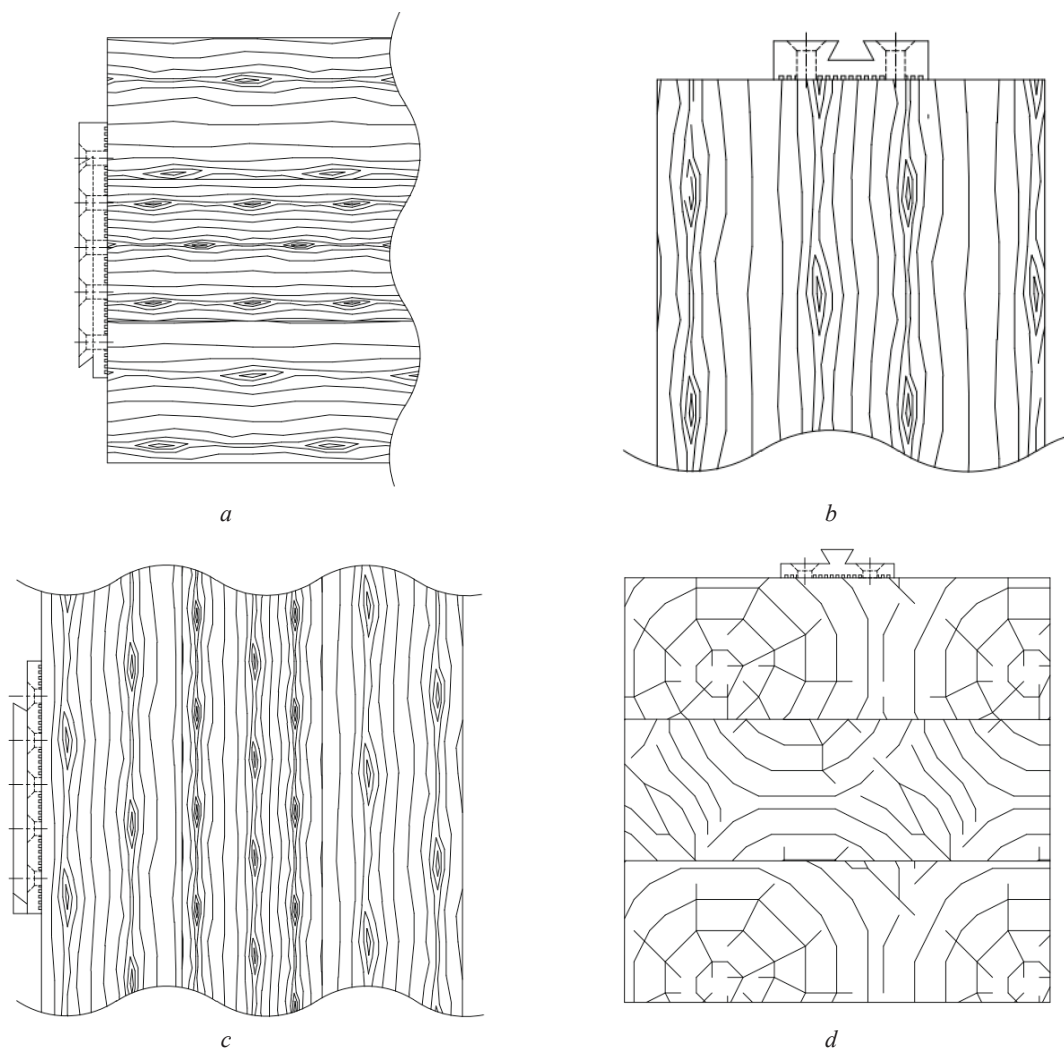


Рис. 5. Сечение: *a* — *A-A* на рис. 4, *a*; *b* — *B-B* на рис. 4, *a*; *c* — *C-C* на рис. 4, *b*; *d* — *D-D* на рис. 4, *b*

Fig. 5. Section: *a* — *A-A* in Fig. 4, *a*; *b* — *B-B* in Fig. 4, *a*; *c* — *C-C* in Fig. 4, *b*; *d* — *D-D* in Fig. 4, *b*

единительных элементов (двух стальных накладок (одна — с шипом, другая — с пазом)), поперечные сечения шипа и паза которых имеют форму ласточкина хвоста и расширяются в форме клина в продольном направлении приложения нагрузки к соединению, которые закреплены к двум деревянным элементам с помощью клеевинченных шурупов, для образования жесткого и надежного соединения по принципу «ласточкин хвост» и передачи нагрузок от одного элемента к другому. Между шурупом и древесиной, а также между металлической накладкой и деревянным элементом присутствует клеевой слой из эпоксидной смолы и отвердителя. Соединение выполнено закрытым способом путем фрезерования паза в ригеле. На рис. 4, 5 для наглядности соединение выполнено открытым способом.

В качестве материала изготовления соединительных элементов используется конструкционная легированная сталь. На сторонах металлических накладок, крепящихся к деревянным элементам, выполнены насечки. Форма поперечного сечения паза

в форме ласточкина хвоста с клиновидным уширением обеспечивает удобство вставки накладки с шипом в накладку с пазом. Между шипом накладки с шипом и пазом накладки с пазом в узких их частях в вертикальном направлении выполнен зазор для обеспечения распределения внутренних напряжений, возникающих при нагружении соединения, по длине боковых граней шипа и паза. Общая длина шурупов, ввинчиваемых в накладку с пазом, больше длины шурупов, ввинчиваемых в накладку с шипом. В качестве клеевого слоя между шурупом и древесиной, а также между металлической накладкой и древесиной может использоваться эпоксидная смола ЭД-20 и отвердитель ТЭТА, эпоксидная смола ЭД-20 и отвердитель ПЭПА, эпоксидная смола DER-331 и отвердитель ТЭТА, эпоксидная смола DER-331 и отвердитель ПЭПА.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили разработать конструктивное решение сопряжений деревянных колонн и ригелей на основе металлических

накладок, обладающее повышенной надежностью по сравнению с изученными соединениями и лишенное их недостатков, и повысить надежность конструирования конструкций на основе деревянных элементов с использованием металлических

накладок. Разработанный узел соединения может быть применен при строительстве, реконструкции и реставрации деревянных зданий и сооружений различного назначения, в том числе многоэтажных и большепролетных.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chernova T., Melekhov V. Behavior of timber-timber composite structure connected by inclined screws // Magazine of Civil Engineering. 2023. No. 4 (120). P. 12004. DOI: 10.34910/MCE.120.4.EDN LTHOSP.
2. Leijten A.J.M., Franke S., Quenneville P., Gupta R. Bearing strength capacity of continuous supported timber beams: Unified approach for test methods and structural design codes // Journal of Structural Engineering. 2012. Vol. 138. Issue 2. Pp. 266–272. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000454
3. Leijten A.J.M., Larsen H.J., Van der Put T.A.C.M. Structural design for compression strength perpendicular to the grain of timber beams // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Issue 3. Pp. 252–257. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.08.042
4. Dezhin M., Ibragimov A. Improving the reliability of the joints of wooden elements on metal linings // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 402. P. 10005. DOI: 10.1051/e3sconf/202340210005
5. Dezhin M., Ibragimov A. Increasing the bearing capacity of the joints of wooden elements on metal plates // Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Pp. 341–348. DOI: 10.1007/978-3-031-10853-2\_32
6. Дежин М.А., Ибрагимов А.М. Изучение характера деформативности соединений деревянных элементов на металлических накладках с применением ввинченных шурупов // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. № 1 (1061). С. 52–53. EDN XQUFJH.
7. Дежин М.А. Несущая способность и деформативность соединений деревянных элементов на металлических накладках с использованием ввинченных шурупов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6 (78). С. 264–271. EDN FUXSTM.
8. Дежин М.А. Оценка влияния применения эпоксидного клея на прочностные показатели и деформации соединений деревянных элементов на металлических накладках с применением ввинченных шурупов // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2022. № 2 (1050). С. 28–30. EDN INMZAF.
9. Madsen B., Hooley R., Hall C. A design method for bearing stresses in wood // Canadian Journal of Civil Engineering. 1982. Vol. 9. Issue 2. Pp. 338–349. DOI: 10.1139/l82-035
10. Leijten A. The bearing strength capacity perpendicular to grain of norway spruce — Evaluation of three structural timber design models // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 105. Pp. 528–535. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.170
11. Hoffmeyer P., Damkilde L., Pedersen T. Structural timber and glulam in compression perpendicular to grain // Holz als Roh- und Werkstoff. 2000. Vol. 58. Issue 1–2. Pp. 73–80. DOI: 10.1007/s001070050390
12. De Santis Y., Fragiaco M. Timber-to-timber and steel-to-timber screw connections: Derivation of the slip modulus via beam on elastic foundation model // Engineering Structures. 2021. Vol. 244. P. 112798. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112798
13. Hamid Mirdad M., Jucutan K., Niederwestberg J., Hei Chui Y. Embedment and withdrawal stiffness predictions of self-tapping screws in timber // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 345. P. 128394. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128394
14. Линьков В.И. Повышение несущей способности соединений на наклонных ввинченных стержнях // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11 (71). С. 339–346. EDN JSHPHD.
15. Линьков В.И. Напряженное состояние наклонных металлических стержней в деревянных элементах составного сечения // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 159. EDN OBUTSB.
16. Линьков В.И. Несущая способность и деформативность НВС-соединений деревянных элементов при различном положении ввинченного стержня // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 4 (394). С. 179–185. DOI: 10.47367/0021-3497\_2021\_4\_179. EDN YMIRHW.
17. Линьков В.И. Соединения на наклонных ввинченных стержнях в деревянных балках для реконструкции зданий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 3 (369). С. 212–217. EDN ZIWDVAV.
18. Линьков В.И. Применение древесины мягких лиственных пород в деревянных элементах составного сечения на наклонных ввинченных стержнях // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2 (380). С. 153–158. EDN SQMHPE.
19. Линьков В.И. К вопросу проектирования составных деревянных балок на наклонных металлических стержнях для покрытий реконструируемых объектов текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 3 (375). С. 84–89. EDN VJQDJY.

20. Сюй Ю. Повышение несущей способности соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках с исполь-

зованием металлической зубчатой пластины : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015. 198 с. EDN XZRHZB.

Поступила в редакцию 24 октября 2023 г.

Принята в доработанном виде 24 октября 2023 г.

Одобрена для публикации 11 декабря 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Максим Александрович Дежин** — аспирант кафедры металлических и деревянных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 947750, ResearcherID: ABE-2168-2021, Scopus: 57889248000, ORCID: 0000-0002-6142-0258; maksim1403@yandex.ru;

**Александр Майорович Ибрагимов** — доктор технических наук, профессор кафедры металлических и деревянных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 704948, ResearcherID: AFN-6830-2022, Scopus: 57189524528, ORCID: 0000-0003-3761-9213; igasu\_alex@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## REFERENCES

- Chernova T., Melekhov V. Behavior of timber-timber composite structure connected by inclined screws. *Magazine of Civil Engineering*. 2023; 4(120):12004. DOI: 10.34910/MCE.120.4.EDN LTHOSP.
- Leijten A., Franke S., Quenneville P., Gupta R. Bearing strength capacity of continuous supported timber beams: Unified approach for test methods and structural design codes. *Journal of Structural Engineering*. 2012; 138(2):266-272. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000454
- Leijten A.J. M., Larsen H.J., Van der Put T.A.C.M. Structural design for compression strength perpendicular to the grain of timber beams. *Construction and Building Materials*. 2010; 24(3):252-257. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.08.042
- Dezhin M., Ibragimov A. Improving the reliability of the joints of wooden elements on metal linings. *E3S Web of Conferences*. 2023; 402:10005. DOI: 10.1051/e3sconf/202340210005
- Dezhin M., Ibragimov A. Increasing the bearing capacity of the joints of wooden elements on metal plates. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023; 341-348. DOI: 10.1007/978-3-031-10853-2\_32
- Dezhin M.A., Ibragimov A.M. The study of the nature of the deformability of wooden elements joints on metal lips with the application of screws. *BST: Bulletin of the Construction Equipment*. 2023; 1(1061):52-53. EDN XQUFJH. (rus.).
- Dezhin M.A. Bearing capacity and deformability of joints of wooden elements on metal plates using screwed in screws. *Engineering Journal of Don*. 2021; 6(78):264-271. EDN FUXSTM. (rus.).
- Dezhin M.A. Estimation of the influence of the application of epoxy glue on the strength indicators and deformation of joints of wooden elements on metal plates with the application of screws. *BST: Bulletin of the Construction Equipment*. 2022; 2(1050):28-30. EDN INMZAF. (rus.).
- Madsen B., Hooley R., Hall C. A design method for bearing stresses in wood. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1982; 9(2):338-349. DOI: 10.1139/l82-035
- Leijten A. The bearing strength capacity perpendicular to grain of Norway spruce — Evaluation of three structural timber design models. *Construction and Building Materials*. 2016; 105:528-535. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.170
- Hoffmeyer P., Damkilde L., Pedersen T. Structural timber and glulam in compression perpendicular to grain. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 2000; 58(1-2):73-80. DOI: 10.1007/s001070050390
- De Santis Y., Fragiaco M. Timber-to-timber and steel-to-timber screw connections: Derivation of the slip modulus via beam on elastic foundation model. *Engineering Structures*. 2021; 244:112798. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112798
- Hamid Mirdad M., Jucutan K., Niederwestberg J., Hei Chui Y. Embedment and withdrawal stiffness predictions of self-tapping screws in timber. *Construction and Building Materials*. 2022; 345:128394. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128394
- Linkov V.I. Increasing the bearing capacity of connections on inclined screwed rods. *Engineering Journal of Don*. 2020; 11(71):339-346. EDN JSHPHD. (rus.).
- Linkov V.I. The stress condition of inclined metal rods in the timber elements of the built-up section. *Engineering journal of Don*. 2019; 1(52):159. EDN OBUTSB. (rus.).
- Linkov V.I. Bearing capacity and deformability of ISR-connections of wooden elements at different positions of the screwed-in rod. *Textile Industry Technology (Series: Proceedings of Higher Educational In-*

stitutions). 2021; 4(394):179-185. DOI: 10.47367/0021-3497\_2021\_4\_179.EDN YMIRHW. (rus.).

17. Linkov V.I. Connections on inclined screwed rods in wooden beams for the reconstruction of textile industry buildings. *Textile Industry Technology (Series: Proceedings of Higher Educational Institutions)*. 2017; 3(369):212-217. EDN ZIWDAV. (rus.).

18. Linkov V.I. Use of soft hardwood in wooden elements of composite section on inclined metal rods. *Textile Industry Technology (Series: Proceedings of Higher Educational Institutions)*. 2019; 2(380):153-158. EDN SQMHPE. (rus.).

19. Linkov V.I. On the question of designing composite wooden beams on inclined metal rods for coatings of reconstructed in textile industry. *Textile Industry Technology (Series: Proceedings of Higher Educational Institutions)*. 2018; 3(375):84-89. EDN VJQDJY. (rus.).

20. Syuj Yu. *Increasing the load-bearing capacity of connections between wooden structural elements on metal plates using a metal toothed plate : thesis of candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2015; 198. EDN XZRHZB. (rus.).

Received October 24, 2023.

Adopted in revised form on October 24, 2023.

Approved for publication on December 11, 2023.

**B I O N O T E S:** **Maxim A. Dezhin** — postgraduate student of the Department of Metal and Wooden Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 947750, ResearcherID: ABE-2168-2021, Scopus: 57889248000, ORCID: 0000-0002-6142-0258; maksim1403@yandex.ru;

**Aleksandr M. Ibragimov** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal and Wooden Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 704948, ResearcherID: AFN-6830-2022, Scopus: 57189524528, ORCID: 0000-0003-3761-9213; igasu\_alex@mail.ru.

*Contribution of the authors: all authors made equivalent contributions to the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*