



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2024, ТОМ 20, НОМЕР 2, 63–73

EDN: EATFLG

УДК 624.011.17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

Т. А. Зиннуров¹, Е. В. Новицкий²

ФГБОУВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,

Российская Федерация, Республика Татарстан,
420043, г. о. Казанский, г. Казань, ул. Зеленая, 1.

E-mail: ¹ leongar@mail.ru, ² egorka.no@gmail.com

Получена 06 мая 2024; принята 24 мая 2024.

Аннотация. В современном мире проблема доступности строительства зданий и сооружений в отдалённых населённых пунктах особенно актуальна. Также важен вопрос не только доступности, но и скорости возведения, одним из возможных решений является использование деревянных конструкций, например, модифицированных деревянных балок, усиленных полимеркомпозитными стержнями из стекловолокна. Эти балки обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными деревянными конструкциями и материалами, как, например, высокая коррозионная стойкость ввиду особенностей стеклопластиковой арматуры, или же большая несущая способность по сравнению с традиционными конструкциями, возведёнными исключительно из древесины. Применение деревянных конструкций, усиленных полимерными композитными элементами, позволяет значительно ускорить процесс строительства, так как эти материалы обладают относительно высокой прочностью и лёгкостью, что облегчает их транспортировку, монтаж, уменьшая постоянную нагрузку. В статье рассматриваются количественные показатели усиления деревянных балок при изгибе с применением армирования стеклопластиковыми стержнями и без него.

Ключевые слова: деревянная балка, полимеркомпозитная арматура, эпоксидная смола, изгиб, усиление, напряженно-деформированное состояние, деревянные конструкции.

DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF WOODEN BENT ELEMENTS BY POLYMER COMPOSITE REINFORCEMENT

Tagir Zinnurov¹, Egor Novitsky²

FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Engineering»,

Russian Federation, 420043, Kazan, Zelenaya st., 1.

E-mail: ¹ leongar@mail.ru, ² egorka.no@gmail.com

Received 06 May 2024; accepted 24 May 2024.

Abstract. In the modern world, the problem of accessibility to the construction of buildings and structures in remote settlements is especially relevant. The issue of not only accessibility, but also the speed of construction is also important, one of the possible solutions is the use of wooden structures, for example, modified wooden beams reinforced with polymer composite rods made of glass. These beams have a number of advantages over traditional wooden structures and materials, such as high corrosion resistance due to the characteristics of fiberglass reinforcement, or greater load-bearing capacity compared to traditional structures built exclusively from wood. The use of wooden structures reinforced with polymer composite elements can significantly speed up the construction process, since these materials have relatively high strength and lightness, which facilitates their transportation and installation, reducing the constant load. The article discusses the quantitative indicators of strengthening wooden beams during bending with and without reinforcement with fiberglass rods.

Keywords: wooden beam, polymer composite reinforcement, epoxy resin, bending, reinforcement, stress-strain state, wooden structures.



Формулировка проблемы

Применение деревянных конструкций в современных сооружениях в рамках развития строительной отрасли в Российской Федерации является значимым вопросом [1–4]. Важным преимуществом древесины является её доступность и низкая стоимость. Однако ограничения в размерах и форме пиломатериалов требуют дополнительных модификаций конструктивных решений для увеличения несущей способности [5–7]. Применяя традиционные материалы, можно добиться значительного повышения несущей способности, например, используя стальную арматуру [8–10], но также можно обратиться к современным решениям современного рынка – полимеркомпозитным материалам, превосходящим по некоторым характеристикам традиционные материалы [11–15].

Древесина – это возобновляемый ресурс, который при правильном использовании может обеспечить потребности строительства на долгое время. Подобный экологический метод строительства становится всё более популярным за рубежом, так как он помогает сохранить природные ресурсы и решить проблемы с экологией [16, 17], в России также занимаются данной проблемой [18]. Принимая во внимания все современные технические требования, важно отметить необходимость изыскания новых способов усиления существующих конструкций, которые могут быть применены в строительстве объектов транспортных сооружений [19–23].

Анализ последних исследований и публикаций

Проектирование и возведение деревянных конструкций основывается на опыте и научных разработках, связанных с традиционными методами теоретической механики и модернизированными решениями на их основе. Вопросом усиления деревянных конструкций или их восстановления до первоначальной несущей способности активно занимался В. О. Стоянов, описывающие в своей работе способ усиления деревянных балок с помощью полимеркомпозитных холстов или стержней разной формы [22]. Важно отметить патент С. И. Рощиной, в котором описывается композитный состав для восстановления деструктивных участков элементов деревянных конструкций [23], а в исследовании А. В. Петрова

описываются технологические процессы ремонтно-восстановительных работ деревянных стеновых конструкций [24]. За рубежом особое внимание уделяют особенностям ремонтных работ деревянных конструкций [25, 26], и математическому моделированию работы деревянных элементов [27, 28]. Не смотря на, большой объем информации в области изучения деревянных конструкций, на данный момент отсутствуют какие-либо исследования по армированию мостовых сооружений с применением полимерной арматурой.

Цели и задачи исследования

Цель исследования: провести анализ действительной работы деревянных балок, армированной полимеркомпозитной арматурой.

Задачи исследования: проведение эксперимента с деревянными балками армированными и неармированными продольными полимеркомпозитными стержнями в нижней зоне сечения и сравнение полученных результатов.

Основной материал

В исследовательской работе проводится испытание образцов на действие изгибающего момента, на основе которого будет проводиться количественная оценка армированных и неармированных балок. В качестве расчетной схемы прием классическую схему трех точечного нагружения деревянной балки (рис. 1).

В соответствии с расчетной схемой на рисунке 1 были созданы составные образцы-балки с сечением 45×60 мм длиной 400 мм. В трех образцах были проделаны желоба – в нижнем поясе для укладки стеклопластиковой арматуры, затем в них установлены стержни и с помощью эпоксидной смолы проклеены для объединения в совместную работу с древесиной (рис. 2). Номера образцов с индексом А принадлежат армированным брускам, а с индексом Н неармированным брускам.

После того, как эпоксидная смола затвердела, образцы испытывались на гидравлическом прессе П-125 с металлическими простакками, которые являлись концентраторами опорных усилий, перемещения регистрировались с помощью индикатора часового типа (ИЧ) (рис. 3). Все образцы доведены до разрушения. Характер разрушений всех образцов – разрыв по волокнам (рис. 4).

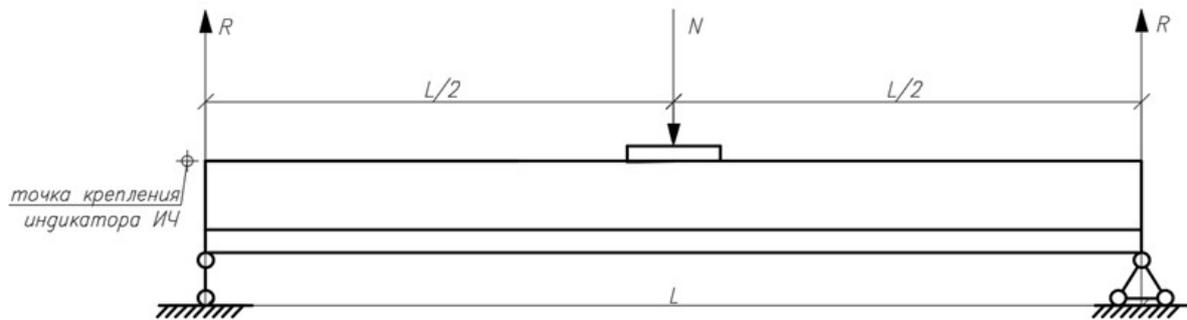


Рисунок 1 – Расчетная схема армированной деревянной балки.

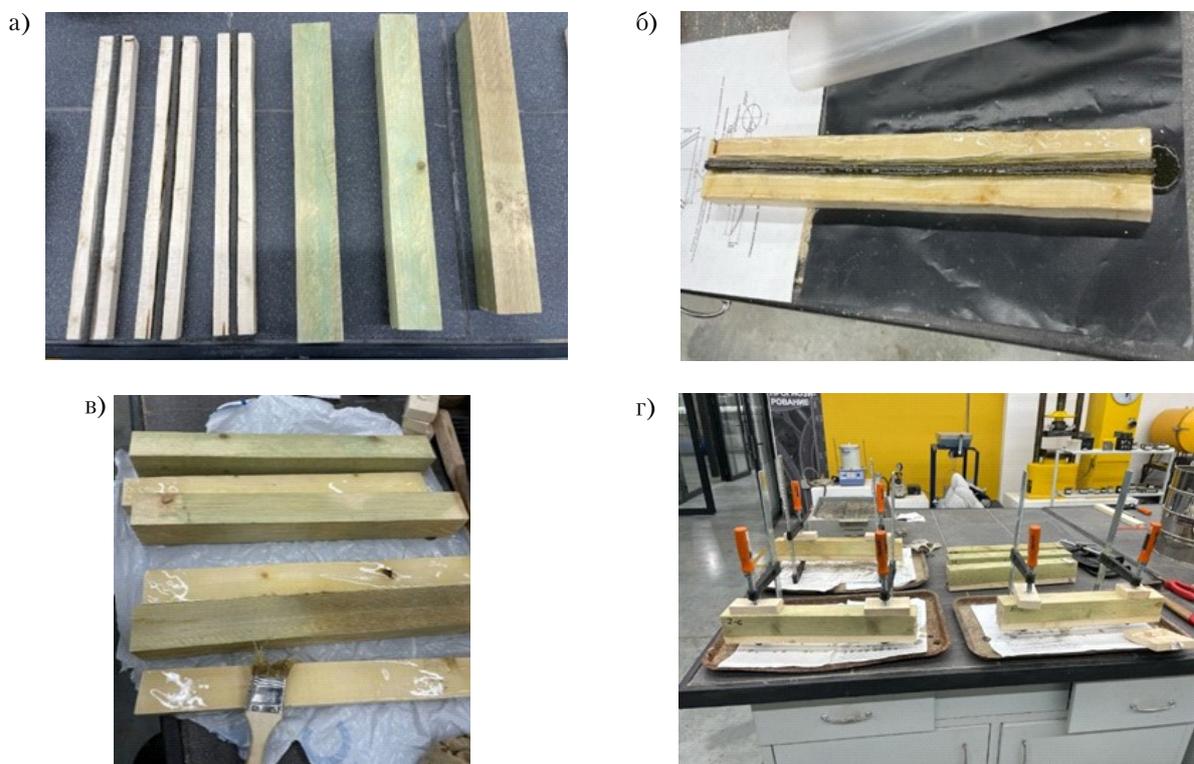


Рисунок 2 – Этапы создания образцов-балок: а) подготовка составных элементов армированных балок; б) проклейка нижнего пояса балок; в) проклейка составных элементов неармированных балок; г) процесс закрепления составных элементов.



Рисунок 3 – Процесс испытания балок.



Рисунок 4 – Вид деформаций балки.

На основе полученных результатов эксперимента были составлены таблицы значений деформации образцов при различных уровнях нагружения (табл. и рис. 5).

По данным таблицы составлены графики средних значений перемещений для армированных и неармированных балок с последующем подбором аппроксимирующей функции (рис. 6).

Таблица. Значения нагрузок и деформаций испытанных образцов

Нагрузка, Н	A1	A2	A3	H1	H2	H3
	Перемещения, мм					
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
250	0,76	0,05	0,02	0,00	0,45	0,02
500	1,23	0,07	0,04	0,77	0,45	0,10
750	1,80	0,22	0,72	1,47	1,75	0,51
1 000	2,31	0,58	1,25	2,05	2,25	1,24
1 250	2,71	1,07	1,68	2,53	2,76	1,85
1 500	3,10	1,50	2,07	2,84	3,20	2,30
1 750	3,48	2,20	2,39	3,52	3,53	2,87
2 000	3,94	2,58	2,81	4,00	4,11	3,30
2 250	4,36	3,17	3,23	4,88	4,85	4,10
2 500	4,78	3,91	3,70	6,91	–	5,34
2 750	5,45	4,93	4,11	7,06	–	–
3 000	6,30	5,61	4,70	9,67	–	–
3 250	9,80	6,26	5,23	9,67	–	–
3 500	–	7,18	–	–	–	–

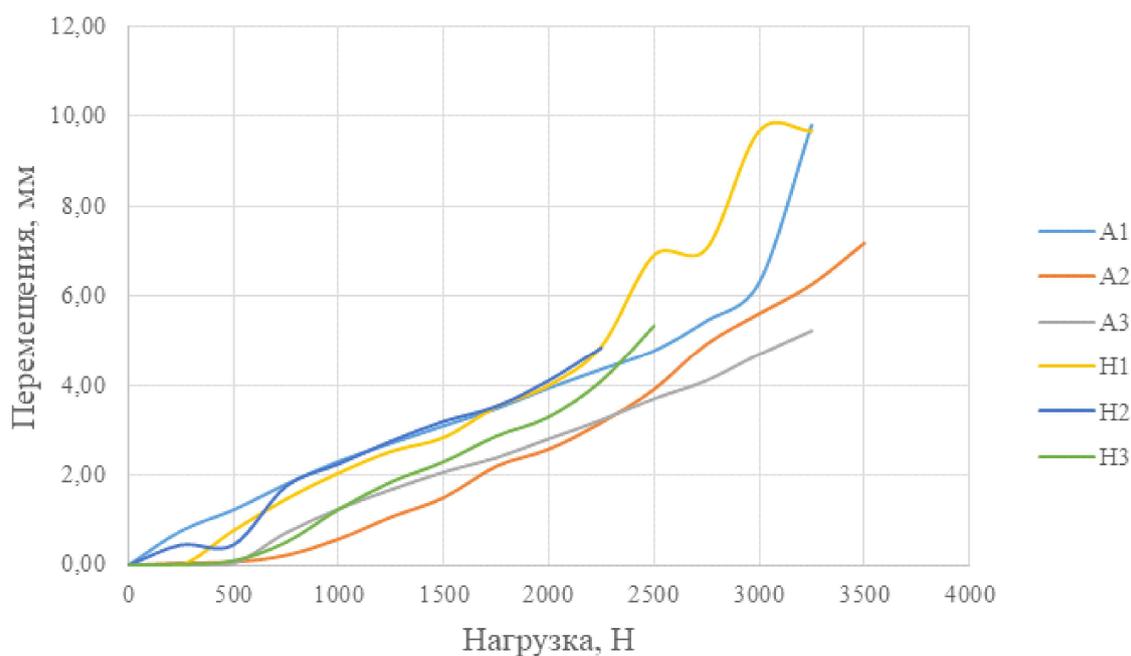


Рисунок 5 – График зависимости нагрузки к перемещениям в середине образца деревянных балок.

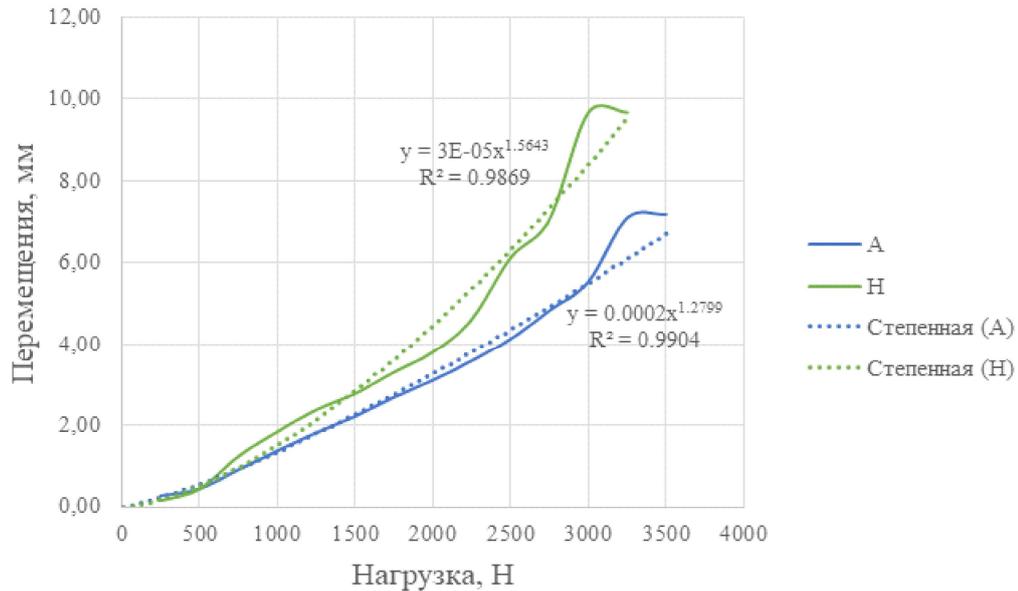


Рисунок 6 – График средних значений отношений нагрузки к перемещениям деревянных балок.

Величина детерминированности аппроксимации степенной функции близка к единице как у значений армированных, так и у неармированных балок, что говорит нам о потенциальной предсказуемости дальнейших результатов. Также основываясь на полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что средняя предельная нагрузка у неармированных балок ниже на 20 %, чем у армированных.

Сравним экспериментальные результаты с теоретическими, поэтому произведем расчет прочности деревянных балок по нормальному сечению и сравним предельные разрушающие силы. Для этого используем формулу (1) из строительной механики для определения изгибающего момента при трехточечном изгибе и выразим усилие:

$$F = \frac{4\sigma W}{l} \quad (1)$$

где F – нагрузка Н;

l – длина изгибаемого элемента, м.

M – изгибающий момент, кН·м.

σ – нормальные напряжения, МПа;

W – момент сопротивления сечения, м³.

Далее для определения теоретического критического усилия потери несущей способности балки необходимо определить геометрические характеристики изгибаемого элемента. В армированном

образце используем коэффициент приведения стеклопластика к древесине на основе отношения их модулей деформаций:

$$a = \frac{E_a}{E_d} \quad (2)$$

где E_a – модуль деформации арматуры, МПа;

E_d – модуль деформации древесины, МПа.

Принимая, что модуль деформации древесины равен 8 800 МПа [29], а стеклопластика – 46 000 МПа [30–32], коэффициент a равен 5,23, тогда приведенная площадь сечения будет равна 0,002963 м² (рис. 7).

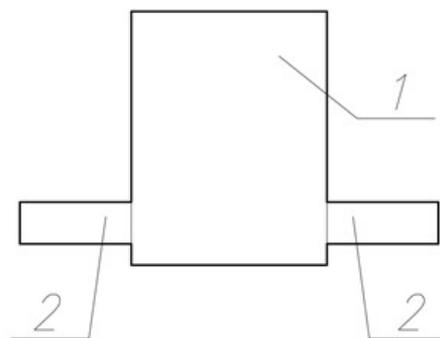


Рисунок 7 – Приведенная площадь сечения армированного образца, где 1 – площадь деревянного бруса, 2 – площадь стеклопластиковой арматуры.

Момент инерции данной фигуры равен $7,63 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$, а момент сопротивления фигуры равен $2,54 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$. В соответствии с нормативной документацией предельное значение нормальных напряжений равно 13,7 МПа, тогда, подставив все значения в формулу 1, получим предельное усилие для армированного образца:

$$F = \frac{4 \cdot 13,7 \cdot 10^6 \cdot 2,54 \cdot 10^{-5}}{0,4} = 3479,1 \text{ Н}$$

Средняя разрушающая нагрузка экспериментального исследования составила 3 500 Н, что довольно близко к расчетному значению, разница между теоретическим и экспериментальным значениями составляет 0,58 %.

Предельное усилие для неармированных балок в соответствии с формулой 1, где момент сопротивления равен $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ будет следующим:

$$F = \frac{4 \cdot 13,7 \cdot 10^6 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5}}{0,4} = 3151 \text{ Н}$$

Основные выводы

- 1) Эксперимент продемонстрировал разницу разрушающей нагрузки между армированными и неармированными образцами деревянных балок, которая составила 20 %. Характер разрушений всех образцов – разрыв по волокнам.
- 2) Значения коэффициента детерминации аппроксимаций армированных и неармированных брусков близки к 1, что является положительным аспектом предсказания вертикальных перемещений в зависимости от нагрузки.
- 3) По результату теоретических расчетов увеличение несущей способности армированных деревянных балок составило 9,43 %, что хорошо коррелируется с результатами эксперимента.

Литература

1. Хорошилов, К. В. О применении отходов лесозаготовки и переработки древесины при строительстве зимних лесовозных дорог / К. В. Хорошилов, Г. Н. Колесников. – Текст : электронный // Повышение эффективности лесного комплекса : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 22–23 мая 2018 г., Петрозаводск. – Петрозаводск : Петрозаводский государственный университет, 2018. – С. 176–178. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35770349&pff=1> (дата обращения: 10.02.2024). – EDN: YCFEYX.
2. Камалов, И. М. К вопросу применения «бионефти» – продукта пиролиза древесины в дорожном строительстве / И. М. Камалов, О. Н. Ильина. – Текст : электронный // 21 century : fundamental science and technology X : Proceedings of the Conference, 03–04 октября 2016 г., North Charleston, USA. – North Charleston, USA : CreateSpace, 2016. – С. 116–118. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27567903&pff=1> (дата обращения: 10.02.2024). – EDN: XFGZFP.
3. Клыков, И. А. Применение древесины в строительстве / И. А. Клыков. – Текст : электронный // Информационные системы и технологии АПК и ПГС : сборник научных статей Международной научно-технической конференции : в 2-х томах : том 2, 06 октября 2023 г., Курск. – Курск : Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, 2023. – С. 71–73. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54817794&pff=1> (дата обращения: 05.02.2024). – EDN: LXSLLY.

References

1. Khoroshilov, K. V.; Kolesnikov, G. N. On the application of wastes for woodworking and processing of wood in the construction of winter forestry roads. – Text : electronic. – In: *Increasing the efficiency of the forestry complex* : materials of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation, May 22–23, 2018, Petrozavodsk. – Petrozavodsk : Petrozavodsk State University, 2018. – P. 176–178. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35770349&pff=1> (date of access: 10.02.2024). – EDN: YCFEYX. (in Russian)
2. Kamalov, I. M.; Ilyina, O. N. On the issue of using «bio-oil» – a product of wood pyrolysis in road construction. – Text : electronic. – In: *21 century : fundamental science and technology X* : Proceedings of the Conference, October 03–04, 2016, North Charleston, USA. – North Charleston, USA : CreateSpace, 2016. – P. 116–118. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27567903&pff=1> (date of access: 10.02.2024). – EDN: XFGZFP. (in Russian)
3. Klykov, I. A. Application of wood in construction. – Text : electronic. – In: *Information systems and technologies of agro-industrial complex and PGS : collection of scientific articles of the International Scientific and Technical Conference : in 2 volumes : volume 2, October 6, 2023, Kursk*. – Kursk : Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanova, 2023. – P. 71–73. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54817794&pff=1> (date of access: 05.02.2024). – EDN: LXSLLY. (in Russian)
4. Shimansky, B. R.; Vlasyuk, D. S. Application of wood in modern construction. – Text : electronic. – In:

4. Шиманский, Б. Р. Применение древесины в современном строительстве / Б. Р. Шиманский, Д. С. Власюк. – Текст : электронный // Агропромышленный комплекс в ногу со временем : сборник трудов Международной научно-практической конференции, 15 ноября 2023 г., Тюмень. – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 132–136. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=5497615-7&pff=1> (дата обращения: 24.01.2024). – EDN: LLMXQZ.
5. Зиннуров, Т. А. Определение прогиба составных деревянных изгибаемых элементов, армированных цилиндрическими полимеркомпозитными нагелями / Т. А. Зиннуров, Е. В. Новицкий. – DOI: 10.22227/1997-0935.2023.5.697-708. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2023. – Том 18, выпуск 5. – С. 697–708. – URL: <http://nso-journal-03.mgsu.ru/component/sjarchive/issue/article.display/2023/5/697-708.pdf> (дата обращения: 15.01.2024). – EDN: RTOQXE.
6. Анализ работы цилиндрических полимеркомпозитных нагелей в деревянных составных изгибаемых элементах / Т. А. Зиннуров, Е. В. Новицкий, С. В. Пермяков [и др.]. – DOI: 10.22227/1997-0935.2023.5.697-708. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 3(65). – С. 110–121. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/3_2023/11_110_121.pdf (дата обращения: 11.04.2024). – EDN: RTOQXE.
7. Ванин, И. В. Эффективность применения в соединениях деревянных конструкций клеенных резьбовых шайб / И. В. Ванин, М. В. Арискин. – DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.7. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – № 1(67). – С. 63–70. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/1_2024/7.Ванин,-Арискин.pdf (дата обращения: 17.04.2024). – EDN: IAWOPI.
8. Блохина, Н. С. Компьютерный анализ пространственной работы балок из древесины, армированных поперечной арматурой / Н. С. Блохина, А. Г. Галкин. – Текст : электронный // Инновации и инвестиции. – 2016. – № 10. – С. 216–218. – URL: <https://innovazia.ru/upload/iblock/b00/№10%202016.pdf> (дата обращения: 11.04.2024).
9. Кощеев, А. А. Эффективность прямолинейного армирования деревянных балок перекрытий стальной тросовой арматурой без предварительного натяжения / А. А. Кощеев, С. И. Рощина. – DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-100-105. – Текст : электронный // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 2(50). – С. 100–105. – URL: https://brstu.ru/static/unit/journal_smt/docs/number-50/100-105.pdf (дата обращения: 03.04.2024). – EDN: ZNEBXD.
10. Кощеев, А. А. Армирование деревянных балок стальной канатной арматурой по криволинейной *Agroindustrial complex keeping up with the times : collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference, November 15, 2023, Tyumen.* – Tyumen : State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2023. – P. 132–136. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54-976157&pff=1> (date of access: 24.01.2024). – EDN: LLMXQZ. (in Russian)
5. Zinnurov, T. A.; Novitsky, E. V. Deflection determination of composite wood bending elements reinforced with cylindrical polymer-composite dowels. – Text : electronic. – In: *Bulletin of MGSU.* – 2023. – Volume 18, Issue 5. – P. 697–708. – URL: <http://nso-journal-03.mgsu.ru/component/sjarchive/issue/article.display/2023/5/697-70-8.pdf> (date of access: 15.01.2024). – DOI: 10.22227/1997-0935.2023.5.697-708. – EDN: RTOQXE. (in Russian)
6. Zinnurov, T. A.; Novitsky, E. V.; Permyakov S. V. [et al.]. Analysis of the operation of cylindrical polymer composite dowels in wooden composite bending elements. – Text : electronic. – In: *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering.* – 2023. – № 3(65). – P. 110–121. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/3_2023/11_110_121.pdf (date of access: 11.04.2024). – DOI: 10.22227/19970935-2023.5.697-708. – EDN: RTOQXE. (in Russian)
7. Vanin, I. V.; Ariskin, M. V. The effectiveness of the use of glued threaded washers in the joints of wooden structures. – Text : electronic. – In: *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering.* – 2024. – № 1(67). – P. 63–70. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/1_2024/7.Ванин,-Арискин.pdf (date of access: 17.04.2024). – DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.7. – EDN: IAWOPI. (in Russian)
8. Blokhina, N. S.; Galkin, A. G. Computer analysis of the spatial work of wood beams reinforced with transverse reinforcement. – Text : electronic. – In: *Innovations and investments.* – 2016. – № 10. – P. 216–218. – URL: <https://innovazia.ru/upload/iblock/b00/№10%202016.pdf> (date of access: 11.04.2024).
9. Koshcheev, A. A.; Roshchina, S. I. Efficiency of rectilinear reinforcement of wooden floor beams with steel cable reinforcement without prior tension. – Text : electronic. – In: *Systems. Methods. Technologies.* – 2021. – № 2(50). – P. 100–105. – URL: https://brstu.ru/static/unit/journal_smt/docs/number-50/100-105.pdf (date of access: 03.04.2024). – DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-100-105. – EDN: ZNEBXD. (in Russian)
10. Koshcheev, A. A. Reinforcement of wooden beams with steel rope reinforcement along a curved path to increase the working area of anchoring in support areas. – Text : electronic. – In: *Current problems of modern science in the 21st century : collection of materials of the XIII International Scientific and Practical Conference, April 30, 2017, Makhachkala.* – Makhachkala : Limited Liability Company «Approbation», 2017. – P. 47–51. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30051456> (date of access: 05.04.2024). – EDN: ZHQAEN. (in Russian)

- траектории для увеличения рабочей зоны анкеровки на приопорных участках / А. А. Кошеев. – Текст : электронный // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке : сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, 30 апреля 2017 г., Махачкала. – Махачкала : Общество с ограниченной ответственностью «Апробация», 2017. – С. 47–51. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30051456> (дата обращения: 05.04.2024). – EDN: ZHQAEH.
11. Прошенко, Е. А. О технологии армирования клееной древесины путем вдавливания стеклопластиковой арматуры в процессе прессования ламелей / Е. А. Прошенко, С. В. Цыбакин, А. А. Титунин. – DOI: 10.18411/trnio-06-2022-74. – Текст : электронный // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 86-2. – С. 94–96. – URL: <https://doicod.ru/doi/10.18411/trnio-06-2022-74> (дата обращения: 11.04.2024). – EDN: LXWDDDB.
 12. Бажин, Г. М. Напряженность и деформативность деревянного соединения усиленного тканью из углеволокна / Г. М. Бажин, Э. И. Хобот. – Текст : электронный // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 10. – С. 446–448. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napryazhennost-i-deformativnost-derevyannogo-soedineniya-usilinnogo-tkanyu-iz-uglevolokna/viewer> (дата обращения: 11.04.2024).
 13. Полилов, А. Н. Принципы совершенствования структуры композитных изделий, основанные на изучении биотехнологий и биоматериалов / А. Н. Полилов, Н. А. Татусь. – DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1191-1216. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2021. – Том 16, № 9. – С. 1191–1216. – URL: <http://nso-journal-03.mgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2021/9/1191-1216.pdf> (дата обращения: 07.04.2024). – EDN: DMFWOJ.
 14. Устарханов, О. М. Схема армирования дощатоклееной балки стеклопластиковым прутком / О. М. Устарханов, Г. Г. Ирзаев. – DOI: 10.18454/mca.2018.11.2. – Текст : электронный // Современное строительство и архитектура. – 2018. – № 3(11). – С. 16–20. – URL: https://modern-construction.ru/media/legacy_articles/mc_168-91.pdf (дата обращения: 15.01.2024). – EDN: XVJGFN.
 15. Новицкий, Я. Я. Экспериментальное исследование несущей способности деревянных балок, усиленных углеродной лентой / Я. Я. Новицкий. – Текст : электронный // Приоритеты мировой науки : эксперимент и научная дискуссия : сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, 13 сентября 2019 г., Кемерово. – Кемерово : Общество с ограниченной ответственностью «Западно-Сибирский научный центр», 2019. – С. 10–13. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40945921> (дата обращения: 15.01.2024). – EDN: SHHXYA.
 16. Benjamin, K.; Ritt, M.; Spitzer, A. Design Concept for Green Timber Truss Bridge in City Area. Sustainability / K. Benjamin, M. Ritt, A. Spitzer. – Text : direct. – In: *MDPI Sustainability*. – 2020. – № 12. – P. 3218–3238.
 17. Minarmi, I.; Wardhana, H.; Mursadin, A. Innovation of Substitute Material to Conservation Effort of Eusideroxulon Zwageri on Wooden Bridge Maintenance Project. – Text : direct. – In: *Technium*. – 2021. – Volume 3, Issue 8. – P. 103–109.
 18. Patent № 2794834 C1 Russian Federation, IPC E01C21/00, E01C3/04, E02D3/12, C04B28/04. Modified cement ground for road construction : № 2022129974 : application 18.11.2022 : date of publication 25.04.2023 / Vdovin E. A., Konovarov N. V.; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan State
 11. Proshchenko, E. A.; Tsybakin, S. V.; Titunin, A. A. On the technology of reinforcement of glued wood by pressing fiberglass reinforcement in the process of pressing lamellas. – Text : electronic. – In: *Trends in the development of science and education*. – 2022. – № 86-2. – P. 94–96. – URL: <https://doicod.ru/doi/10.18411/trnio-06-2022-74> (date of access: 11.04.2024). – DOI: 10.18411/trnio-06-2022-74. – EDN: LXWDDDB. (in Russian)
 12. Bazhin, G. M.; Khabot, E. I. Tension and deformability of a wooden joint reinforced with carbon fiber fabric. – Text : electronic. – In: *Innovations and investments*. – 2023. – № 10. – P. 446–448. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napryazhennost-i-deformativnost-derevyannogo-soedineniya-usilinnogo-tkanyu-iz-uglevolokna/viewer> (date of access: 11.04.2024). (in Russian)
 13. Polilov, A. N.; Tatus, N. A. Experience nature as a basis for building strong composite structures. – Text : electronic. – In: *Vestnik MGSU*. – 2021. – Volume 16, № 9. – P. 1191–1216. – URL: <http://nso-journal-03.mgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2021/9/1191-1216.pdf> (date of access: 07.04.2024). – DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1191-1216. – EDN: DMFWOJ. (in Russian)
 14. Ustarkhanov, O. M.; Irzaev, G. G. Scheme of laminated beam reinforcement with a fiberglass bar. – Text : electronic. – In: *Modern construction and architecture*. – 2018. – № 3(11). – P. 16–20. – URL: https://modern-construction.ru/media/legacy_articles/mc_16891.pdf (date of access: 15.01.2024). – DOI: 10.18454/mca.2018.11.2. – EDN: XVJGFN. (in Russian)
 15. Novitsky, Ya. Ya. Experimental study of the load-bearing capacity of wooden beams reinforced with carbon tape. – Text : electronic. – In: *Priorities of world science : experiment and scientific discussion : collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference, September 13, 2019, Kemerovo*. – Kemerovo : Limited Liability Company «West Siberian Scientific Center», 2019. – P. 10–13. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40945921> (date of access: 15.01.2024). – EDN: SHHXYA. (in Russian)

- K. Benjamin, M. Ritt, A. Spitzer. – Текст : непосредственный // MDPI Sustainability. – 2020. – № 12. – P. 3218–3238.
17. Minarmi, I. Innovation of Substitute Material to Conservation Effort of Eusideroxulon Zwageri on Wooden Bridge Maintenance Project / I. Minarmi, H. Wardhana, A. Mursadin. – Текст : непосредственный // Technium. – 2021. – Volume 3, Issue 8. – P. 103–109.
 18. Патент № 2794834 С1 Российская Федерация, МПК E01C21/00, E01C3/04, E02D3/12, C04B28/04. Модифицированный цементогрунт для дорожного строительства : № 2022129974 : заявл. 18.11.2022 : опубл. 25.04.2023 / Вдовин Е. А., Коновалов Н. В. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». – 5 с. : ил. – Текст : непосредственный.
 19. Мирсаяпов, И. Т. Исследование сталежелезобетонной балки с частичной заделкой двутаврового сечения в бетоне на основе диаграммного метода расчета / И. Т. Мирсаяпов, И. М. Гиматдинов. – DOI: 10.52409/20731523_2023_2_6. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 2(64). – С. 6–16. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2023/1_6_16_Mirsayapov.pdf (дата обращения: 05.02.2024). – EDN: ZVRIMO.
 20. Хомяков, А. А. Битумное вяжущее, модифицированное полисульфидом на основе смеси алифатических аминов и высших жирных кислот / А. А. Хомяков, А. Ю. Фомин, Р. К. Низамов. – DOI: 10.52409/20731523_2023_4_267. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 4(66). – С. 267–274. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/4_2023/25_267_274.pdf (дата обращения: 05.02.2024). – EDN: UDCGYP.
 21. Вдовин Е. А. Проектирование дорожных одежд со слоями из модифицированных кремнийорганическими соединениями цементогрунтов / Е. А. Вдовин, П. Е. Буланов, В. Ф. Строганов. – DOI: 10.48612/NewsKSUAЕ/67.20. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – № 1(67). – С. 207–216. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/1_2024/20.Вдовин,Строганов.pdf (дата обращения: 15.01.2024). – EDN: ZABBNC.
 22. Зависимость долговечности строительных конструкций от их параметров и технических свойств строительных материалов / В. Н. Левченко, Е. А. Дмитренко, Н. А. Невгень [и др.]. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2023. – Том 19, № 1. – С. 15–22. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-1/st_02_levchenko_dmitrenko_nevgen_riabovol_khramogina.pdf (дата обращения: 15.01.2024). – EDN: EBPLSR.
 - University of Architecture and Engineering». – 5 s. : ill. – Text : direct. (in Russian)
 19. Ilshat T. M.; Gimatdinov, I. M. Investigation of a steel-reinforced concrete beam with a partial embedment of an I-section in concrete based on a diagrammatic calculation method. – Text : electronic. – In: *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. – 2023. – № 2(64). – P. 6–16. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2023/1_6_16_Mirsayapov.pdf (date of access: 05.02.2024). – DOI: 10.52409/20731523_2023_2_6. – EDN: ZVRIMO. (in Russian)
 20. Khomyakov, A. A.; Fomin, A. Y.; Nizamov, R. K. Bituminous binder modified with polysulfide based on the mixture of aliphatic amines and higher fatty acids. – Text : electronic. – In: *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. – 2023. – № 4(66). – P. 267–274. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/4_2023/25_267_274.pdf (date of access: 05.02.2024). – DOI: 10.52409/20731523_2023_4_267. – EDN: UDCGYP. (in Russian)
 21. Vdovin, E. A.; Bulanov, P. E.; Stroganov, V. F. Design of road pavements with layers of soil-cement modified with organosilicon. – Text : electronic. – In: *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. – 2024. – № 1(67). – P. 207–216. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/1_2024/20.Вдовин,Строганов.pdf (date of access: 15.01.2024). – DOI: 10.48612/NewsKSUAЕ/67.20. – EDN: ZABBNC. (in Russian)
 22. Levchenko, V. N.; Dmitrenko, E. A.; Nevgen, N. A. [et al.]. Dependence of the durability of building structures on their parameters and technical properties of building materials. – Text : electronic. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2023. – Volume 19, № 1. – P. 15–22. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-1/st_02_levchenko_dmitrenko_nevgen_riabovol_khramogina.pdf (date of access: 15.01.2024). – EDN: EBPLSR. (in Russian)
 23. Pogoreltsev, A. A.; Stoianov, V. O. Strengthening of wooden beams with cracks by inclined reinforcement with fiberglass reinforcement. – Text : electronic. – In: *Structural mechanics and calculation of structures*. – 2018. – № 1(276). – P. 60–65. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ynxjkq> (date of access: 15.01.2024). – EDN: YNXJKQ. (in Russian)
 24. Shakirov, A. R.; Shakirzyanov, F. R.; Suleymanov A. M. Research of a numerical model of the stress-strain state of a reinforced concrete beam strengthened with carbon fiber. – Text : electronic. – In: *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. – 2023. – № 4(66). – P. 43–52. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/4_2023/5_43_52%20.pdf (date of access: 05.02.2024). – DOI: 10.52409/20731523_2023_4_43. – EDN: DKATJJ. (in Russian)
 25. Patent № 2697564 C1 Russian Federation, IPC C08L 63/02, C08K 5/17, C08K 5/10. Blend

23. Погорельцев, А. А. Усиление деревянных балок с трещинами наклонным армированием стеклопластиковой арматурой / А. А. Погорельцев, В. О. Стоянов. – Текст : электронный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 1(276). – С. 60–65. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ynxjkq> (дата обращения: 15.01.2024). – EDN: YNXJKQ.
24. Шакирзянов, Ф. Р. Исследование численной модели напряжённо-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной углепластиком / Ф. Р. Шакирзянов, А. Р. Шакиров, А. М. Сулейманов. – DOI: 10.52409/20731523_2023_4_43. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 4(66). – С. 43–52. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/4_2023/5_43_52%-20.pdf (дата обращения: 05.02.2024). – EDN: DKATJJ.
25. Патент № 2697564 С1 Российская Федерация, МПК C08L 63/02, C08K 5/17, C08K 5/10. Компонентный состав полимерной композиции для восстановления деструктивных участков элементов деревянных конструкций : № 2018124141 : заявл. 02.07.2018 ; опубл. 15.08.2019 / Рошина С. И., Смирнов Е. А., Лукин М. В. [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). – 6 с. : ил. – Текст : непосредственный.
26. Совершенствование технологии восстановления конструкций нулевого цикла деревянных зданий старой застройки в сельских районах Иркутского региона / А. В. Петров, А. С. Чесноков, В. Ю. Вологжин [и др.]. – Текст : электронный // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2023. – Том 13, № 1. – С. 64–69. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=shhebl> (дата обращения: 02.02.2024). – EDN: SHHEBL.
27. Junior, Jose William Leal. Economic evaluation of the wooden bridges replacement for steel-reinforced concrete composite bridges in the Balsas-MA rural zones / Jose Wilson Leal Junior, Leandro Gomes Domingos. – Текст : электронный // *Contribuciones a las ciencias sociales*. – 2024. – Volume 17, № 2. – P. 1–23. – URL: https://www.researchgate.net/publication/378227265_Economic_evaluation_of_the_wooden_bridges_replacement_for_steel-reinforced_concrete_composite_bridges_in_the_Balsas-MA_rural_zones (дата обращения: 10.04.2024). – DOI: e4576. 10.55905/revconv.17n.2-089.
28. Idrizi, Lulzim. Wood structures repair / Lulzim Idrizi, Name Bujar Jashari, Rrahim Sejdiu. – Текст : непосредственный // *MACE Macedonian Association of Structural Engineers*. – 2021. – № 1. – P. 1–48.
29. Oliveira, Damian. Behaviour of Mass Timber Members Subjected to Consecutive Blast Loads / Damian Oliveira, Christian Viau, Ghasan Doudak. – composition of polymer composition for restoration of destructive sections of wooden structures elements : № 2018124141 : application 02.07.2018 : date of publication 15.08.2019 / Roshchina S. I., Smirnov E. A., Lukin M. V. [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov» (VISU). – 6 s. : ill. – Text : direct. (in Russian)
26. Petrov, A. V.; Chesnokov, A. S.; Vologzhin, V. Yu. [et al.]. Improving the technology for restoring zero-cycle structures of old wooden buildings in rural areas of the Irkutsk region. – Text : electronic. – In: *Youth Bulletin of ISTU*. – 2023. – Volume 13, № 1. – P. 64–69. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=shhebl> (date of access: 02.02.2024). – EDN: SHHEBL. (in Russian)
27. Junior, Jose William Leal; Domingos, Leandro Gomes. Economic evaluation of the wooden bridges replacement for steel-reinforced concrete composite bridges in the Balsas-MA rural zones / Jose Wilson Leal Junior. – Text : electronic. – In: *Contribuciones a las ciencias sociales*. – 2024. – Volume 17, № 2. – P. 1–23. – URL: https://www.researchgate.net/publication/378227265_Economic_evaluation_of_the_wooden_bridges_replacement_for_steel-reinforced_concrete_composite_bridges_in_the_Balsas-MA_rural_zones (date of access: 10.04.2024). – DOI: e4576. 10.55905/revconv.17n.2-089.
28. Idrizi, Lulzim; Jashari, Name Bujar; Sejdiu, Rrahim. Wood structures repair. – Text : direct. – In: *MACE Macedonian Association of Structural Engineers*. – 2021. – № 1. – P. 1–48.
29. Oliveira, Damian; Viau, Christian; Doudak, Ghasan. Behaviour of Mass Timber Members Subjected to Consecutive Blast Loads. – Text : direct. – In: *International Journal of Impact Engineering*. – 2022. – № 173:104454. – P. 1–10.
30. Wu, H. C.; Eamon, C. D. Strengthening of concrete structures using fiber reinforced polymers (FRP): Design, construction and practical applications. – Sawston, Cambridge : Woodhead Publishing, 2017. – 340 p. – Text : direct.
31. Zolotareva, V. V.; Karat, L. D.; Kochergin, Yu. S. Control of the properties of epoxy composites using monoglycidil compounds. – Text : electronic. – In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2023. – Issue 2023-1(159) Modern building materials. – P. 81–88. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-1\(159\)/st_11_zolotareva_karat_kochergin.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-1(159)/st_11_zolotareva_karat_kochergin.pdf) (date of access: 10.04.2024). – EDN: YFISMT. (in Russian)
32. Niedoriezov, A. V. Stress-strain state of reinforced concrete elements with indirect reinforcement. – Text : electronic. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2021. – Volume 17, № 1. – P. 5–18. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2021-1/01_nedoriezov.pdf (date of access: 10.04.2024). – EDN: MIZWHU. (in Russian)

- Текст : непосредственный // International Journal of Impact Engineering. – 2022. – № 173:104454. – P. 1–10.
30. Wu, H. C. Strengthening of concrete structures using fiber reinforced polymers (FRP): Design, construction and practical applications / H. C. Wu, C. D. Eamon. – Sawston, Cambridge : Woodhead Publishing, 2017. – 340 p. – Текст : непосредственный.
 31. Золотарева, В. В. Регулирование свойств эпоксидных композитов с помощью моноглицидиловых соединений / В. В. Золотарева, Л. Д. Карат, Ю. С. Кочергин. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – Выпуск 2023-1(159) Современные строительные материалы. – С. 81–88. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-1\(159\)/st_11_zolotareva_karat_kochergin.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-1(159)/st_11_zolotareva_karat_kochergin.pdf) (дата обращения: 10.04.2024). – EDN: YFISMT.
 32. Недорезов, А. В. Напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов с косвенным армированием / А. В. Недорезов. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2021. – Том 17, № 1. – С. 5–18. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2021-1/01_nedorezov.pdf (дата обращения: 10.04.2024). – EDN: MIZWHU.

Зиннуров Тагир Альмирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: поиск рациональных форм применения полимеркомпозитных материалов, исследование совместной работы деревянных и армобетонных конструкций армированных стеклопластиковой арматурой.

Новицкий Егор Владиславович – аспирант, ассистент кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: исследование совместной работы деревянных конструкций армированных стеклопластиковой арматурой, разработка и исследование способов усиления деревянных балок.

Zinnurov Tagir – Ph D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Highways, Bridges and Tunnels, FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Engineering». Scientific interests: the search for rational forms of application of polymer composite materials, the study of the joint work of wooden and reinforced concrete structures reinforced with fiberglass reinforcement.

Novitsky Egor – postgraduate student, assistant of the Department of Highways, Bridges and Tunnels FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Civil Engineering». Scientific interests: the study of the joint work of wooden structures reinforced with fiberglass reinforcement, the development and research of ways to strengthen wooden beams.