

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 694.02

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-4-61-68>

Адгезивная прочность клеевого соединения древесины с арматурой из отработанных полотен ленточных пил

Д.О. Мясников , В.А. Репин , С.И. Рощина 

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Российская Федерация

✉ daniil.miasnikov.96@mail.ru



EDN: UBYKLB

Аннотация

Введение. В связи с высокими объемами производства пиломатериалов в Российской Федерации возникает проблема по утилизации отработанных полотен ленточных пил (ОПЛП), срок службы которых составляет 20–500 часов. Одним из способов её решения является использование ОПЛП в качестве материала для армирования элементов из древесины. Такое решение способствует снижению стоимости «в деле» таких конструкций за счёт удешевления армирующего материала. Настоящая работа посвящена исследованию адгезионной прочности клеевого соединения ОПЛП с древесиной.

Материалы и методы. Исследования адгезивной прочности клеевого соединения «древесина–арматура» представляли собой сравнительный анализ результатов испытания образцов с включением ОПЛП, а также стержней стальной и композитной арматуры. Армирующие элементы были вклеены в заготовки из древесины сосны с применением клеевой композиции на основе эпоксидной смолы ЭД-20 (отвердитель — полиэтиленполиамин, наполнитель — кварцевый песок, пластификатор — дибутилфталат). Испытания выполнялись на выдергивание с помощью машины РЭМ-100 при скорости 5 мм/мин. Статистическая обработка результатов эксперимента включала расчет среднего значения разрушающей нагрузки для каждой группы образцов, а также дисперсии, стандартного отклонения и коэффициента вариации.

Результаты исследования. Деревянные образцы с вклеенными ОПЛП показали высокую прочность соединения «древесина–арматура», близкую к образцам со стальной арматурой с разницей значений около 4 % и значительно превышающую прочность образцов с композитной арматурой — до 20%.

Обсуждение и заключение. Клеевое соединение древесины с армирующими элементами из ОПЛП обладает достаточно высокой адгезионной прочностью, близкой к прочности образцов со стальной арматурой. Таким образом, использование ОПЛП в качестве материала для армирования деревянных элементов и конструкций является целесообразным и эффективным способом повышения эксплуатационных качеств несущих конструкций из древесины. Кроме того, такое решение позволит решить проблему по утилизации ОПЛП, а также несколько снизить стоимость армированных деревянных конструкций (АДК) «в деле» за счёт низкой стоимости армирующего материала.

Ключевые слова: отработанные ленточные пилы, армирование древесины, адгезивная прочность, эпоксидный клей, деревянные конструкции, утилизация отходов

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи. Авторы благодарят руководство лаборатории за предоставленное оборудование для испытаний.

Для цитирования: Мясников Д.О., Репин В.А., Рощина С.И. Адгезивная прочность клеевого соединения древесины с арматурой из отработанных полотен ленточных пил. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2025;4(4):61–68. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-4-61-68>

Adhesive Strength of Wood Glue Joints with a Reinforcement Made from Used Band Saw Blades

Daniil O. Myasnikov , Vladimir A. Repin , Svetlana I. Roshchina 

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russian Federation

✉ daniil.miasnikov.96@mail.ru

Abstract

Introduction. Due to the high volumes of lumber production in the Russian Federation, there is an issue of recycling used band saw blades (UBSB) with a service life of 20–500 hours. A way to tackle the problem at hand is to make use of UBSB as a reinforcement material for wood elements. This solution also contributes to a reduction in the cost of such structures by making a reinforcement material more affordable to purchase. This study focuses on investigating the adhesive strength of a UBSB-wood bond.

Materials and Methods. Studies of the adhesive strength of a “wood-reinforcement” adhesive joint have been a comparative analysis of the test results of samples with the inclusion of UBSB, as well as rods of a steel and composite reinforcement. Reinforcement elements were glued into pine wood blanks with an adhesive composition based on epoxy resin ED-20 (a hardener is polyethylene polyamine, a filler is quartz sand, a plasticizer is dibutyl phthalate). The tests were conducted by means of pulling out using the REM-100 machine at a speed of 5 mm/min. Statistical processing of the experimental results included the calculation of the average value of the destructive load for each group of the samples, as well as the variance, standard deviation, and coefficient of variation.

Research Results. The wooden samples with glued reinforcement bars showed a high strength of the wood–reinforcement joint which was close to the samples with a steel reinforcement with a difference of about 4% and was considerably beyond the strength of the samples with a composite reinforcement — up to 20%.

Discussion and Conclusion. The adhesive joint of wood with reinforcing elements made of reinforced concrete has a sufficiently high adhesive strength which was close to that of the samples with a steel reinforcement. Hence the use of UBSB as a material for reinforcing wooden elements and structures is an appropriate and efficient way of enhancing the performance of load-bearing structures made of wood. On top of that, such a solution would tackle the problem of the disposal of reinforced concrete, as well as to a degree reduce the cost of reinforced wooden structures (RWSs) “in action” due to the low cost of a reinforcing material.

Keywords: used band saws, wood reinforcement, adhesive strength, epoxy glue, wooden structures, waste disposal

Acknowledgment. The authors would like to thank the reviewers, whose critical assessment of the submitted materials and suggestions for their improvement contributed to a significant improvement in the quality of this article. The authors would like to thank the laboratory management for the testing equipment provided.

For citation: Myasnikov DO, Repin VA, Roshchina SI. Adhesive Strength of Wood Glue Joints with a Reinforcement Made from Used Band Saw Blades. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4(4):61–68. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-4-61-68>

Введение. Применение отходов производства для изготовления надёжных строительных конструкций является направлением развития строительной индустрии с точки зрения способствования охране окружающей среды и сохранения экологии [1]. В Российской Федерации производство пиломатериалов сопровождается накоплением отходов производства, в том числе и отработанных полотен ленточных пил (ОПЛП), срок службы которых ограничен 20–500 часами при отсутствии технологий их рециклирования [2]. Использование ОПЛП в качестве материала для армирования элементов из древесины позволит решить проблему утилизации ОПЛП, к тому же стоимость «в деле» таких конструкций будет более низкой за счёт удешевления армирующего материала. В работах [3, 4] отмечалось, что армирование деревянных конструкций способствует повышению их прочности и жёсткости, позволяет до 30 % снизить расход древесины и монтажную массу, применять древесину более низких сортов и т. д., что обеспечит значительное снижение стоимости строительных конструкций из древесины «в деле» [5].

Данная работа посвящена разработке способа армирования деревянных конструкций (АДК) с использованием ОПЛП путём исследования адгезионной прочности клеевого соединения таких арматурных элементов с древесиной [6].

Научная новизна работы заключается в новом способе армирования элементов из древесины, результатах экспериментальных исследований адгезионной прочности соединения «древесина–арматура» с применением ОПЛП по сравнению с армирующими материалами из стержней стальной и композитной арматуры [7]. Цель работы —

оценить адгезионную прочность клеевого соединения «древесина–ОПЛП» в сравнении с другими видами арматуры, такими как стальная и композитная, а также определить степень пригодности использования ОПЛП для изготовления АДК [8].

Материалы и методы. В рамках настоящего исследования проводился анализ адгезионной прочности соединения «древесина–арматура» для трех типов армирующих материалов:

- полотно ленточной пилы (ОПЛП) с поперечным сечением $1,2 \times 25,6$ мм и переменным шагом зубьев 10/14;
- стальная арматура периодического профиля с номинальным диаметром 8 мм;
- композитная арматура периодического профиля с номинальным диаметром 8 мм.

Испытания на выдёргивание выполнялись на деревянных заготовках из древесины сосны обыкновенной с поперечным сечением 50×50 мм [9].

Подготовка образцов. Было изготовлено три группы образцов (по пять моделей в каждой группе) со следующими видами вклеенных арматурных элементов (рис. 1) [10]:

1. Биметаллические полотна (ОПЛП) сечением $1,2 \times 25,6$ мм, длиной 200 мм (марка образцов: БАП-1–БАП-5);
2. Стержни стальной арматуры периодического профиля по ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций» диаметром 8 мм, длиной 200 мм (марка образцов: БАД-01–БАД-05);
3. Стержни композитной арматуры по ГОСТ 31938-2022 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» диаметром 8 мм, длиной 200 мм (марка образцов: БАД-31–БАД-35).

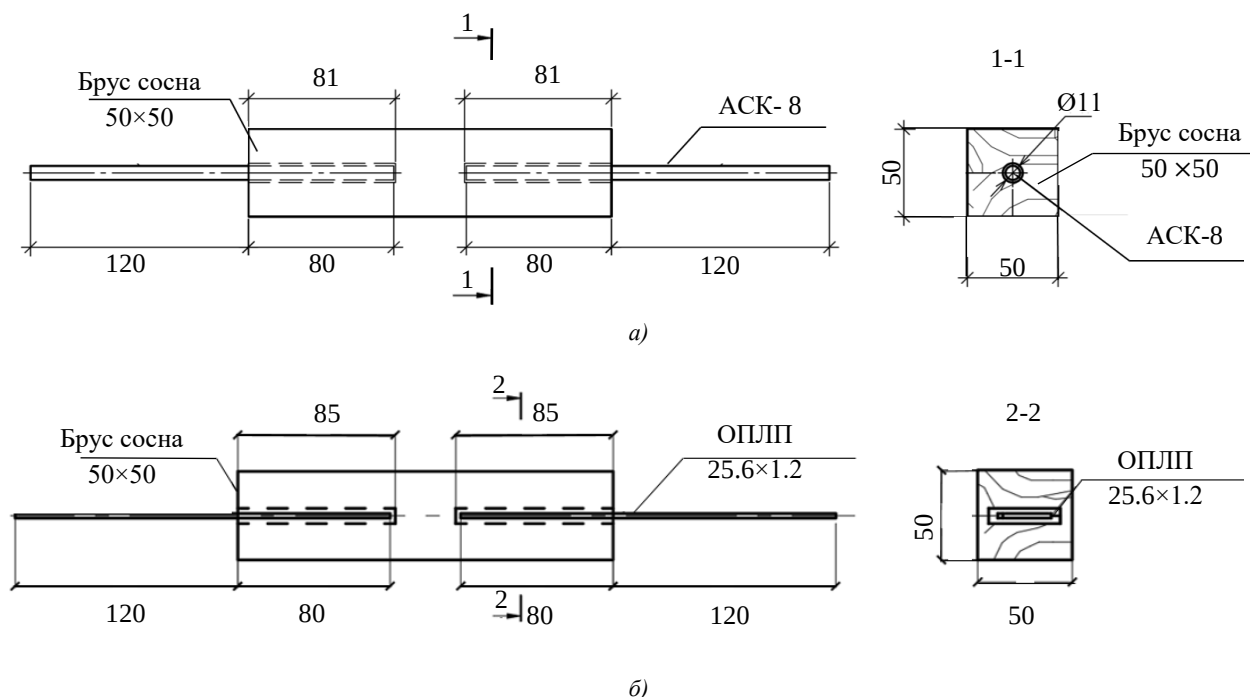


Рис. 1. Схема образцов с вклеенными армирующими элементами:
а — композитная, стальная арматура; б — отработанные полотна ленточных пил

Пазы в деревянных частях образцов для вклеивания ОПЛП выполнялись прямоугольной формы глубиной 3,7 мм и шириной 30,6 мм с помощью пазовой фрезы диаметром 10 мм на фрезере Makita 3612С при 30 000 об/мин [11]. Для вклеивания стержней стальной и композитной арматуры в деревянных заготовках устраивались глухие отверстия диаметром 13 мм и глубиной 80 мм [12].

Полотна ОПЛП подвергались механической обработке для удаления гальванического слоя и придания шероховатости их поверхности с целью улучшения сцепления с клеевым швом [13].

Клеевая композиция имела следующий состав [14]: эпоксидная смола ЭД-20 (100 массовых частей), полиэтиленполиамин (12 массовых частей), кварцевый песок (300 массовых частей) и дибутилфталат (20 массовых частей) [15]. Замешивание клеевой массы выполнялась в блендере «Overhead stirrer PE-8300» при 300 об/мин в течение 5 минут [16]; нанесение на деревянные заготовки шприцем (150 мм^3) или шпателем с расходом $0,2 \text{ кг/м}^3$; отверждение обеспечивалось при 24°C в течение 12 часов (рис. 2).

Методика испытаний. Испытания на выдергивание проводились на машине РЭМ-100 при скорости нагружения 5 мм/мин [17]. Фактом разрушения образца принималось событие, при котором арматурный элемент полностью или частично выдергивался из деревянной части образца (рис. 3). Фиксация величины разрушающей нагрузки осуществлялась разрывным оборудованием автоматически [18].

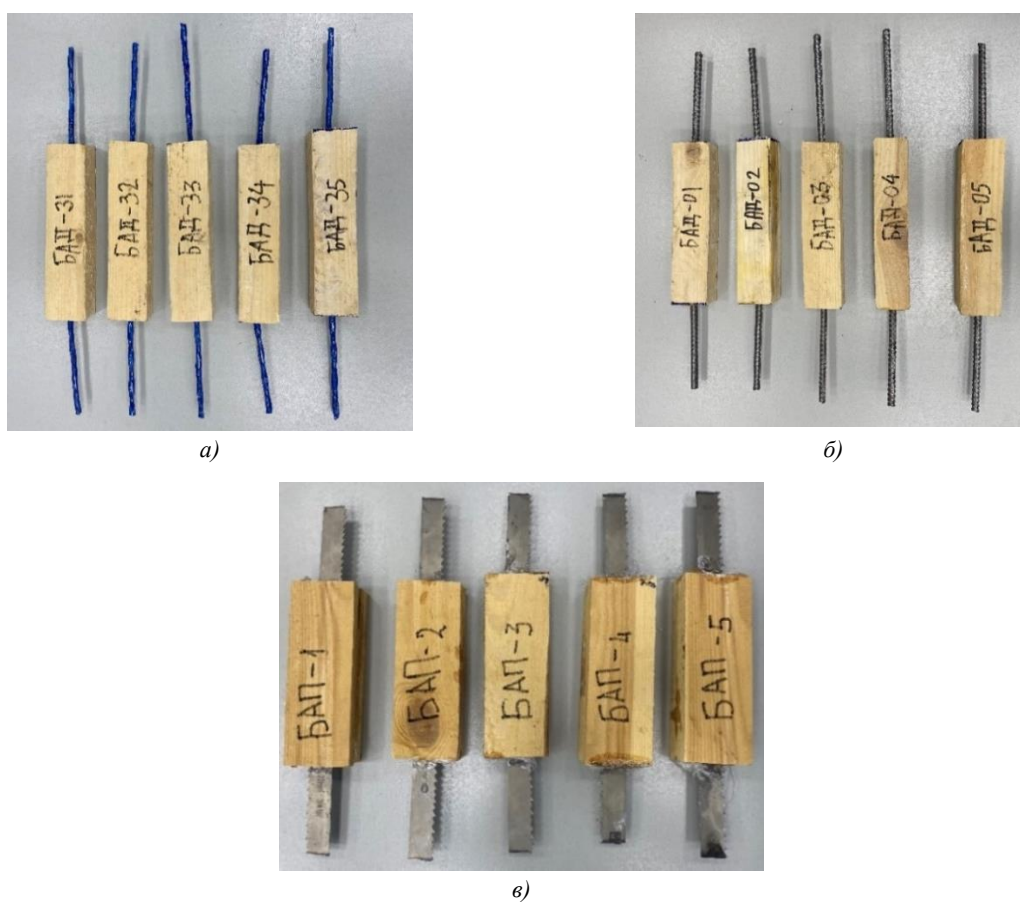


Рис. 2. Готовые образцы с вклеенными армирующими элементами:
а — композитная арматура; б — стальная арматура; в — отработанные полотна ленточных пил

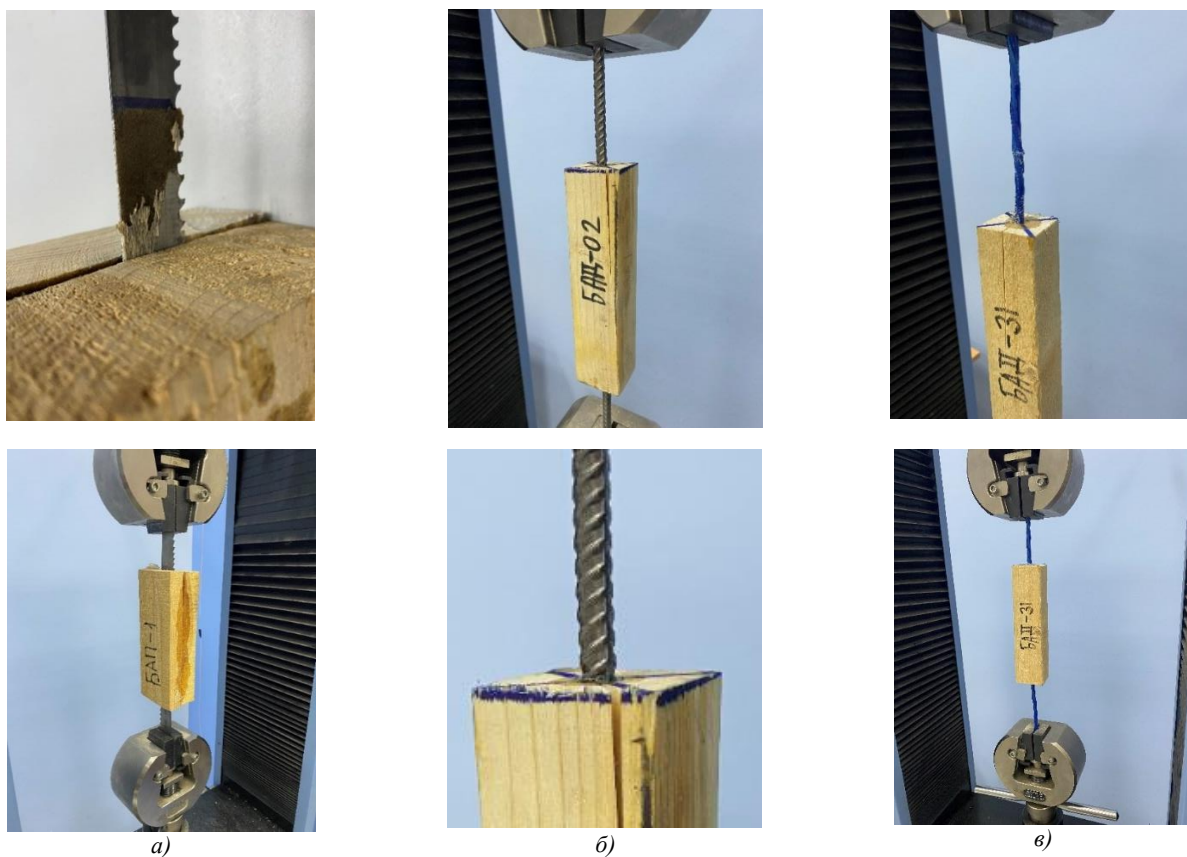


Рис. 3. Схема испытаний на выдергивание на машине РЭМ-100 с образцами:
а — отработанные полотна ленточных пил; б — стальная арматура; в — композитная арматура

Результаты исследования. Основными результатами экспериментальных исследований являлись значения разрушающих нагрузок образцов. Обработка результатов эксперимента выполнялась с применением элементов математической статистики [19]. В пределах каждой группы образцов вычислялись следующие статистические характеристики: среднее значение ($\bar{x}$), дисперсия (ϵ), стандартное отклонение (σ), коэффициент вариации (CV) и минимальная прочность (M), которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики статистической обработки данных испытаний

Материал	Нагрузки, кН	$\bar{x}$, кН	ϵ , кН ²	σ , кН	CV , %	M , кН
Полотна ленточных пил	11,0; 12,2; 10,8; 10,5; 11,4	11,18	0,4319	0,657	5,88	10,52
Композитная арматура ($d = 8$ мм)	9,5; 8,7; 9,0; 8,2; 9,4	8,96	0,2830	0,532	5,94	8,43
Стальная арматура ($d = 8$ мм)	12,3; 10,2; 10,8; 12,4; 12,5	11,64	1,1265	1,061	9,12	10,58

На рис. 4 представлена диаграмма значений разрушающих нагрузок для образцов. Полученные результаты свидетельствуют о высокой достоверности данных, позволяя количественно оценить механические характеристики испытываемых образцов [20].

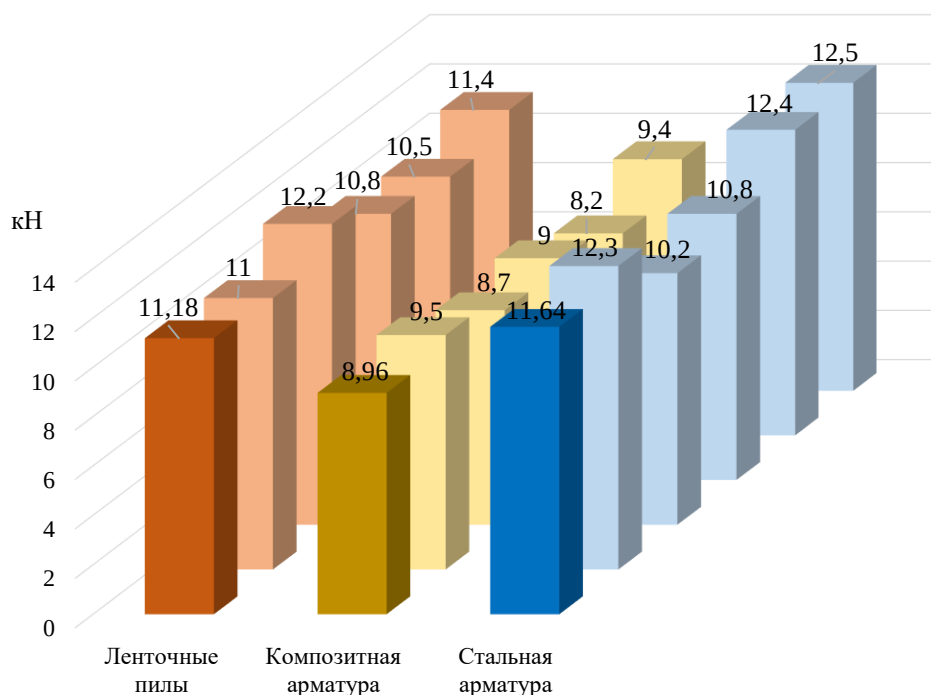


Рис. 4. Результаты испытаний

(результаты средних значений разрушающей нагрузки отображены более ярким цветом)

Соединения ОПЛП с древесиной показывают высокую адгезивную прочность (11,18 кН, $CV = 5,88\%$), сопоставимую со стальной арматурой (11,64 кН, $CV = 9,12\%$) и превосходящую композитную (8,96 кН, $CV = 5,94\%$) [21]. Стабильность соединений обусловлена механической обработкой поверхности полотен, повышающей сцепление с клеем [22]. Разрушение происходило по древесине, что подтверждает надёжность клеевого соединения [23].

Таблица 2

Сравнительные результаты средних значений разрушающей нагрузки

	Полотна ленточных пил	Композитная арматура ($d = 8$ мм)	Стальная арматура ($d = 8$ мм)
Средняя нагрузка $\bar{x}$, кН	11,18	8,960	11,640
Соотношение значений в долях	1,00	0,801	1,041

Обсуждение и заключение. Деревянные образцы с вклеенными ОПЛП показали высокую прочность соединения «древесина–арматура», близкую к образцам со стальной арматурой с разницей значений около 4 % и значительно превышающую прочность образцов с композитной арматурой – до 20%.

Несмотря на то, что образцы со стальной арматурой показали наивысшую прочность, её вариабельность ($CV = 9,12\%$) требует контроля качества древесины и клеевого шва [25]. В свою очередь, образцы с композитной арматурой уступают по прочности образцам с ОПЛП вследствие меньшей шероховатости её поверхности [25].

Достоверность данных обеспечивалась за счёт четкого соблюдения правил и технологии проведения испытаний и качественной работы используемого оборудования.

Следует отметить, что для надёжного сцепления поверхности ОПЛП с клеевым слоем была выполнена предварительная подготовка в виде механической её обработки для удаления гальванического слоя и одновременно для придания ей шероховатости.

Использование ОПЛП для армирования деревянных элементов несущих конструкций позволяет сократить затраты на утилизацию ОПЛП, а также снизить стоимость АДК «в деле». Предлагаемый способ армирования деревянных конструкций с применением ОПЛП имеет перспективы для внедрения в производство по изготовлению лёгких строительных конструкций на основе древесины.

Вышеприведённые факты говорят о том, что ОПЛП вполне пригодны для армирования несущих элементов из древесины, но для полноты оценки эффективности такого решения необходимо исследовать напряжённо-деформированное состояние деревянных конструкций, армированных ОПЛП.

Список литературы/References

1. Рощина С.И. Армирование — эффективное средство повышения надежности и долговечности деревянных конструкций. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2008;2:71–74. URL: https://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=694 (дата обращения: 22.10.2025).
- Roshchina SI Reinforcement – Efficient Means of Increasing Reliability and Durability of Wooden Structures. *Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal*. 2008;2:71–74. (In Russ.) URL: https://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=694 (accessed: 22.10.2025)
2. Мартынов В.А., Мясников Д.О., Рощина С.И. Исследование прочности и деформативности клееных деревянных балок с ламелями из термически поврежденной древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на основе планирования эксперимента. *Лесотехнический журнал*. 2024;14(1):170–189. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/10>
- Martinov VA, Myasnikov DO, Roshchina SI Investigation of the Strength and Deformability of Glued Wooden Beams with Lamellae Made of Thermally Damaged (*Pinus Sylvestris* L.) Wood Based on Experimental Planning. *Forestry Engineering Journal*. 2024;14(1):170–189. (In Russ.) <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/10>
3. Gribanov AS, Rimshin VI, Roshchina SI Experimental Investigations of Composite Wooden Beams with Local Wood Modification. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;687:033039. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/687/3/033039>
4. Kula K, Socha T Renovation and Strengthening of Wooden Beams with CFRP Bands Including the Rheological Effects. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2016;22(3):93–102. <https://doi.org/10.1515/ceer-2016-0038>
5. Corradi M, Speranzini E, Borri A, Vignoli A In-Plane Shear Reinforcement of Wood Beam Floors with FRP. *Composites Part B: Engineering*. 2006;37(4–5):310–319. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2005.11.003>
6. Rescalvo FJ, Valverde-Palacios I, Suarez E, Gallego A Experimental Comparison of Different Carbon Fiber Composites in Reinforcement Layouts for Wooden Beams of Historical Buildings. *Materials*. 2017;10(10):1113. <https://doi.org/10.3390/ma10101113>
7. Попова, М. В., Тужилова М.В., Репин В.А. Напряженное состояние балок с раскосной перфорацией. *Международная конференция по физике материалов, строительным конструкциям и технологиям в строительстве, промышленной и производственной инженерии*. 2024;141–147. <https://mcp.vlsu.ru/index.php?id=archive>
8. Крицин А.В., Лихачева С.Ю., Любов Д.М., Тихонов А.В. Анализ методов расчета деревянных изгибаемых элементов, усиленных углеродным волокном. *Региональная архитектура и строительство*. 2014;4:97–104. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22831599> (дата обращения: 22.10.2025).
9. Rahimi M, Davoodi MR, Nematzadeh M. A Comparative Study between Beam and Pull-Out Tests on Bond Behavior of Ribbed GFRP Bar in Concrete Conforming to RILEM Standards. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2025;(25)37. <https://doi.org/10.1007/s43452-024-01095-1>
10. Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В. Испытание на изгиб деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, разрушающей нагрузкой. *Инженерно-строительный журнал*. 2015;2(54):77–85. <https://doi.org/10.5862/MCE.54.9>

Karelskiy AV, Zhuravleva TP, Labudin BV Load-to-Failure Bending Test of Wood Composite Beams Connected by Gang Nail. *Building Materials and Units: Technology and Organization of Construction*. 2015;2(54):77–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.5862/MCE.54.9>

11. Klyuev SV, Lobov DM Deformativity of Wooden Beam Structures Strengthened of External Reinforcement of Composite Materials Based on Carbon Fiber. *Industrial and Civil Construction 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022;436. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44432-6_25

12. Кавелин А.С., Тютин А.Д., Нуриев В.Э., Колтакова В.А. Армирование деревянных конструкций. *Инженерный вестник Дона*. 2019;8(59):44. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156> (дата обращения: 22.10.2025).

Kavelin AS, Tyutina AD, Nuriev VE, Koltakova VA Reinforcement of Wooden Structures. *Engineering Journal of Don*. 2019;8(59):44. (In Russ.) URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156> (accessed: 22.10.2025)

13. Пятницкий А.А., Крутик С.А., Журенкова М.А. Возможности использования композиционных материалов на основе углепластика в деревянных конструкциях. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2013;3:241–245. URL: <https://www.ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov> (дата обращения: 22.10.2025).

Pyatnitskiy AA, Krutik SA, Zhurenkova MA Possibilities of Using Carbon Fiber Composite Materials in Wooden Structures. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2013;3:241–245. (In Russ.) URL: <https://www.ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov> (accessed: 22.10.2025)

14. Cagnoni A, D'Antino T, Pisani MA Adhesive Choice for Near-Surface-Mounted Reinforcement of Wooden Beams in Historical Buildings. *Materials and Structures*. 2025;(58)176. <https://doi.org/10.1617/s11527-025-02700-2>

15. Aniza R, Petrissans A, Petrissans M Multifunctional Nanotechnology Application for Wood Properties Enhancement: Adhesive and Coating. *Nanomaterials Additives in Bioadhesives for Wood Composites*. https://doi.org/10.1007/978-981-96-3400-2_6

16. Орлов А.О., Лабудин Б.В., Морозов В.С. Исследование прочности и жесткости коннектора с клеем и нагелем. *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. 2019;4(12):95–101. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2019.4.95>

17. Sundukov SK Preparation of an Epoxy Glue by Ultrasonic Treatment. *Polymer Science, Series D* 2024;(17):252–258. <https://doi.org/10.1134/S1995421224700424>

18. Георгиев С.В., Маилан Д.Р., Соловьева А.И. Новый метод усиления железобетонных сжатых колонн, основанный на использовании бетона и композита. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022;1(2):4–12. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-12>

Georgiev SV, Mailyan DR, Solovyeva AI A New Method of Strengthening the Compressed Reinforced Concrete Columns Based on the Use of Concrete and Composite Materials. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(2):4–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-12>

19. Георгиев С.В., Соловьева А.И., Маилан Д.Р. Изменение относительных деформаций в композитных материалах центрально сжатых железобетонных стоек. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022;1(3):24–34. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-24-34>

Georgiev SV, Solovyeva AI, Mailyan DR Change in Relative Deformations in Composite Materials of Centrally Compressed Reinforced Concrete Struts. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(3):24–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-24-34>

20. Фадеев Р.Н., Лисятников М.С. Развитие области применения модифицированной древесины в комбинированных клееных деревянных конструкциях. В: *Сборник трудов V Международной научно-технической конференции по физике материалов, строительным конструкциям и технологиям в строительстве, промышленной и производственной инженерии* (МРСРЕ-2024). Владимир: АРКАИМ; 2024:230–236. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=69150633> (дата обращения: 22.10.2025).

Fadeev RN, Lisyatnikov MS Development of the Field of Application of Modified Wood in Combined Glued Wooden Structures. *Proceedings of the 5th International Scientific and Technical Conference on Physics of Materials, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Manufacturing Engineering* (MPCPE-2024). Vladimir: ARKAIM; 2024:230–236. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=69150633> (accessed: 22.10.2025)

21. Khitrov EG, Birman AR, Ugryumov SA. Calculating the Load-Bearing Capacity of Prestressed Wooden Beams. *Polymer Science, Series D*. 2023;(16):836–839. <https://doi.org/10.1134/S1995421223040147>

22. Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Калиева М.Х., Манапов Р.М. Исследования клееных армированных деревянных конструкций. *Наука в цифрах*. 2016;1:10–13. <https://doi.org/10.21661/r-114936>

Muselemov KhM, Ustrakhanov OM, Kalieva MKh, Manapov RM The Research of Glued Frame-Mounted Wooden Constructions. *Science in Figures*. 2016;1:10–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.21661/r-114936>

23. Блохина Н.С., Галкин А.Г. Компьютерный анализ пространственной работы балок из древесины, армированных поперечной арматурой. *Инновации и инвестиции*. 2016;10:216–218.

Blokhina NS, Nazarenko SN Computer analysis of spatial operation of beams made of wood reinforced with transverse reinforcement. *Innovations and Investments*. 2016;10:216–218. (In Russ.)

24. Padilha TM, Meneghetti EM, Reis ED. Assessment of Glued Laminated Timber Beams Reinforced with Steel Bars under Bending at High Temperatures. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2025;(47)611. <https://doi.org/10.1007/s40430-025-05901-6>

25. Guardigli L Comparing the Environmental Impact of Reinforced Concrete and Wooden Structures. *Eco-efficient Construction and Building Materials*. 2014;407–433. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.3.407>

Об авторах:

Мясников Даниил Олегович, аспирант кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (600000, Российская Федерация, г. Владимир, ул. Горького, 87), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), daniil.miasnikov.96@mail.ru

Репин Владимир Анатольевич, доцент кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (600000, Российская Федерация, г. Владимир, ул. Горького, 87), [ScopusID](#), [ORCID](#), skia2000@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (600000, РФ, г. Владимир, ул. Горького, 87), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), rsi3@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Д.О. Мясников: формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение экспериментов, статистическая обработка данных, подготовка текста, формирование выводов.

В.А. Репин: анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

С.И. Рощина: научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Daniil O. Myasnikov, PhD student of the Department of Building Structures of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (87 Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), daniil.miasnikov.96@mail.ru

Vladimir A. Repin, Associate Professor of the Department of Building Structures of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (87 Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), skia2000@mail.ru

Svetlana I. Roshchina, Dr.Sc. (Eng.), Professor, Department of Building Structures of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (87 Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), rsi3@mail.ru

Claimed contributorship:

DO Myasnikov: formation of the basic concept, aims of the study, conducting the experiments, statistical data processing, manuscript preparation, drawing the conclusions.

VA Repin: analysis of the research results, revision of the manuscript, correction of the conclusions.

SI Roshchina: scientific supervision, analysis of the research results, revision of the manuscript, correction of the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 22.10.2025

Поступила после рецензирования / Revised 07.11.2025

Принята к публикации / Accepted 22.11.2025