

А.В. КОРШАКОВ¹, М.С. ЛИСЯТНИКОВ¹, М.В. ЛУКИН¹, С.И. РОЩИНА¹
¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, АРМИРОВАННЫХ ОТРАБОТАННЫМИ ПОЛОТНАМИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

Аннотация. В России всё больше расширяется объём выпускаемой пилопродукции, получаемой за счёт раскря крупномерных брёвен на ленточнопильных станках. Полотна ленточных пил отрабатывают от 20 до 500 часов, и технология их вторичного использования в настоящее время не предусмотрена. Создание эффективного метода армирования деревянных конструкций отработанными полотнами ленточных пил позволит повысить их показатели несущей способности, жёсткости и эксплуатационной надёжности. Предполагается, что по сочетанию прочностных показателей и технологичности новые армированные деревянные конструкции будут соответствовать существующим аналогам, а по экономическим показателям – превосходить их. Новизна исследования состоит во вторичном использовании техногенных отходов деревообрабатывающих производств в строительстве зданий и сооружений, что позволит с достаточной степенью достоверности обосновать эффективность предложенного метода армирования деревянных конструкций. В статье исследуются балки из цельной древесины длиной 6 метров сечением 100×200 мм, испытания производятся на изгиб. Выполнено численное моделирование плоского напряжённого состояния методом конечных элементов. Несущая способность балки с армированием отработанными полотнами ленточных пил увеличилась в 1,5 раза в сравнении с неармированной балкой.

Ключевые слова: древесина, деревянные конструкции, балки, армирование, прочность.

A.V. KORSHAKOV¹, M.S. LISYATNIKOV¹, M.V. LUKIN¹, S.I. ROSHINA¹
¹ Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF WOODEN STRUCTURES REINFORCED WITH WASTE BAND SAW BLADES

Abstract. In Russia, the volume of sawn products produced by cutting large-sized logs on band saws is increasingly expanding. The blades of band saws work from 20 to 500 hours and the technology of their secondary use is currently not provided. The creation of an effective method of reinforcing wooden structures with spent band saw blades will increase their load-bearing capacity, rigidity and operational reliability. It is assumed that in terms of the combination of strength indicators and manufacturability, the new reinforced wooden structures will correspond to existing analogues, and in terms of economic indicators they will surpass them. The conceptual novelty consists in the secondary use of man-made waste from woodworking industries in the construction of buildings and structures, which for the first time will allow to justify the effectiveness of the method of reinforcing wooden structures with treated band saw blades at a high theoretical level. The article examines beams made of solid wood with a length of 6 meters with a cross section of 100 × 200 mm, bending tests are performed. Numerical simulation of the plane stress state by the finite element method is performed. The load-bearing capacity of a beam reinforced with spent band saw blades increased by 1.5 times in comparison with an unreinforced beam.

Keywords: wood, wooden structures, beams, reinforcement, strength.

Введение

На сегодняшний день древесина является особенно ценным возобновляемым природным материалом. Её активно используют в разных областях жизни общества, в целом, и в строительстве, в частности. Ключевым этапом переработки древесины является получение пиломатериалов, которые в будущем используются для изготовления широкого перечня продукции в различных отраслях промышленности [1]. При этом одним из приоритетных направлений являются рациональное использование древесного сырья [2]. В последние годы в России расширился объём выпускаемой пилопродукции, получаемой за счёт раскроя крупномерных брёвен на ленточнопильных станках [3]. Ленточнопильные станки в мировой практике деревообработки занимают ведущие позиции на операциях продольного деления древесины, в производстве черновых заготовок и столярных изделий [4]. Однако полотна ленточных пил отработывают от 20 до 500 часов, и технология их вторичного использования в настоящее время не предусмотрена. Как правило, организации, эксплуатирующие ленточные пилы, сдают их в лом чёрных металлов, хотя можно найти им иное рациональное применение.

Применение армирования в древесине приводит к экономии базового материала конструкции, повышению прочности и жёсткости балок, эксплуатационной надёжности. Анализ многочисленных отечественных и зарубежных исследований в области усиления деревянных и деревоклеёных конструкций показал, что для создания композитных деревянных конструкций используются следующие методы:

- внедрение в массив древесины стальных пластин и стержней в узловых соединениях и по длине конструкции [5, 6];
- модификация древесины с помощью пропитки различными усиливающими и консервирующими составами [7];
- применение армированного волокном полимера и стальных материалов [8];
- использование имплантов из полимера, армированного углеродным волокном [9, 10], и многие другие.

Наиболее распространённым типом армирования деревянных конструкций на сегодняшний день остается использование продольных и поперечных стержней (стальных, стеклопластиковых и углепластиковых) в растянутой и сжатой зонах балочных конструкций [11-13]. Первые разработки в области армированных деревянных конструкций были выполнены шведским ученым Granholm Н. [14,15]. Дальнейшее исследование армирования в нашей стране развивали научные сотрудники ЦННИСК им. Кучеренко [16-18]. Оптимизация клеёных деревянных конструкций с армированием отражена в работе [19]. Армирование также позволяет снизить стоимость и материалоемкость деревянных конструкций [20].

Применение инновационных клеевых составов на основе эпоксидных смол с включением в состав углеродных нанотрубок (УНТ) позволяет использовать в качестве армирующих элементов стеклоткани и углеткани, что приводит к снижению деформативности и увеличению прочности и надёжности пролётных участков балок [21]. Данными исследованиями на текущий день занимаются научные объединения под руководством Рощиной С. И. [22-23] и Лабудина Б. В. [24-26], а также др.

Широкое развитие получило применение лент из различных материалов, вклеенных в растянутые и сжатые зоны деревянных балок. Примеры таких технологий – исследования Пятницкого А. А. [27]. Ленточные стержни фигурируют в технологиях армирования, предлагаемых Поберезкиным М. А. Исследователь располагает металлические полосы в древесине по замкнутой траектории через механическую врезку или вдавливание. На продольных краях полос предлагается выполнять зубчатые выступы для лучшего сцепления ленты с базовым материалом балки. Широкое развитие получило применение лент из различных материалов, вклеенных в растянутые и сжатые зоны деревянных балок [28].

Пластины для армирования древесины применяются при строительстве многоэтажных зданий из древесины [29-31]. Стальные пластины применяются в качестве силовых элементов на стыках балок и колонн каркаса здания и для усиления конструкций в пролётах [32, 33].

Существуют также применяемые в деревянных балках технологии армирования продольными пластинами. Исследователями изучались возможности клейки пластин в длинномерные несущие строительные элементы [34].

Учёные из Польши в своей статье [35] представили результаты испытаний, проведенных на массивных балках из древесины, которые были подвергнуты изгибу после того, как они были усилены стальными пластинами и эпоксидным клеем. Несущая способность усиленных образцов увеличилась на 100% по сравнению с неупрочнёнными эталонными образцами.

Проанализировав научную литературу по данной теме, можно сделать вывод о том, что вопрос использования отработанных полотен ленточных пил в качестве арматуры для деревянных балок в изученных источниках не поднимался.

Данная работа ориентирована на создание эффективного метода армирования деревянных конструкций отработанными полотнами ленточных пил, позволяющего повысить их показатели несущей способности, жёсткости и эксплуатационной надёжности. Предполагается, что по сочетанию прочностных показателей и технологичности новые армированные деревянные конструкции будут соответствовать существующим аналогам, а по экономическим показателям – превосходить их.

Новизна поставленной задачи состоит во вторичном использовании техногенных отходов деревообрабатывающих производств в строительстве зданий и сооружений, что позволит с достаточной степенью достоверности обосновать эффективность предложенного метода армирования деревянных конструкций.

В этой связи, предлагаемая работа направлена на решение двух научных проблем. Первая связана с изучением напряжённо-деформированного состояния деревянных балок, армированных отработанными полотнами ленточных пил. Вторая проблема является прикладной и связана с необходимостью разработки технологических решений армирования древесины отработанными полотнами ленточных пил.

Отсутствие аналогичных известных трудов и актуальность тематики работы определяют соответствие запланированных результатов мировому уровню исследований.

Решение проблемы разработки научно-технологических основ создания деревянных балочных конструкций, армированных отработанными полотнами ленточных пил, с повышенными показателями несущей способности, жёсткости и эксплуатационной надёжности, имеет важное народнохозяйственное значение, так как позволяет решить следующие задачи:

- рационально использовать древесное сырьё в производстве строительных конструкций;
- расширить сырьевую базу за счёт широкого применения низкосортной древесины с большим количеством пороков;
- разработать новую технологию армирования деревянных конструкций.

Предполагается, что в результате будут решены две прикладные задачи: вопрос вторичного использования отработанных полотен ленточных пил и вопрос сбережения строительной древесины за счёт уменьшения сечений конструкций, армированных полотнами пил.

Модели и методы

Для получения результатов численного исследования было произведено моделирование испытания деревянных балок с прямолинейным армированием длиной 6 метров с шарнирным опиранием, нагруженных равномерно распределённой нагрузкой.

Маркировка моделей:

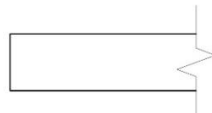
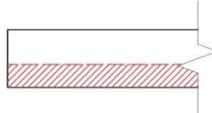
ДБ – балка из цельной древесины сосны без армирования;

ДБА – балка из цельной древесины сосны с прямолинейным армированием по нижней грани стальной пластиной (лента из отработанных пил).

Геометрические параметры численного эксперимента представлены в таблице 1.

Одним из известных численных методов, позволяющих изучать сложное напряжённо-деформированное состояние композитных анизотропных тел, является метод конечных элементов (МКЭ). В данном исследовании использовался программный комплекс «ЛИРА 10.12».

Таблица 1 – Геометрические параметры численного эксперимента

№	Марка модели	Сечение	Продольный разрез	Геометрические параметры	Древесина	Армирование
1.	ДБ			100×200×6000	Сосна, 1 сорт	Отсутствует
2.	ДБА			100×200×6000	Сосна, 1 сорт	Прямое, пластина 80×3

Ввиду универсальности метода расчёта его результаты сильно зависят от правильности формирования исходной конечно-элементной модели и зачастую не совсем совпадают с действительностью. Наблюдается прямая зависимость точности расчёта от степени разбивки исходного тела на исследуемые части. Результаты расчётов данным методом требуют инженерной проверки и сравнения с экспериментальными данными.

В работе выполнялся линейный расчёт. Древесина задавалась четырёхузловыми пластинами (для ПК «ЛИРА 10.12» конечные элементы (КЭ) 24, 27 плоского напряжения (балка-стенка)). В параметрах задавалась плотность ($\rho=500 \text{ кг/м}^3$) и следующие жёсткостные характеристики:

1. Модули упругости (Юнга) при учёте ортотропии пластин: $E_0=11000 \text{ МПа}$, $E_{90}=450 \text{ МПа}$; где E_0 – модуль упругости вдоль волокон (вдоль оси ортотропии X), E_{90} – модуль упругости поперёк волокон (вдоль оси ортотропии Y).

2. Коэффициенты Пуассона: $\nu_{90,0}=0,45$; $\nu_{0,90}=0,018$, где $\nu_{90,0}$ это коэффициент Пуассона поперёк волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, $\nu_{0,90}$ – коэффициент Пуассона вдоль волокон при напряжениях, направленных поперёк волокон.

3. Модуль сдвига древесины относительно осей, направленных вдоль и поперёк волокон $G_0=G_{90}=600 \text{ МПа}$.

Арматура задавалась стержнем (для ПК «ЛИРА 10.12» КЭ 10 – универсальный КЭ пространственного стержня). Из базы данных программного комплекса был выбран стальной прокат. Характеристики приняты для стали марки 75, из которой изготавливаются полотна ленточных пил. В параметрах задавалась плотность ($\rho=7850 \text{ кг/м}^3$) и следующие жёсткостные характеристики:

1. Модуль упругости (Юнга) $E=191 \text{ ГПа}$.

2. Коэффициент Пуассона: $\nu=0,3$.

Совместная работа древесины и ленточных пил обеспечивалась едиными узлами, что не противоречит теории расчета армированных деревянных конструкций.

Для будущего экспериментального исследования в качестве арматуры планируется принять отработанные полотна ленточных пил толщиной 1 мм, высотой 35 мм (с учётом высоты зубьев) и длиной 6000 мм. Процент армирования – 1,2%, что соответствует площади армирования, равной $2,4 \text{ см}^2$, или 8 полотнам ленточных пил без учёта зубьев (высота 30 мм).

Для предварительного расчёта в качестве арматуры исходя из полученной площади армирования принята полоса стальная горячекатаная профилем $80 \times 3 \text{ мм}$.

Для армирования деревянной балки отработанными полотнами ленточных пил будет использоваться предварительное фрезерование пазов по нормали к горизонтальной плоскости балки с последующим использованием запрессовки пластин механическим способом. При помощи циркулярной пилы и ручного фрезера по дереву будут выполнены восемь продольных пазов по числу полотен ленточных пил, которые будут использоваться в качестве арматуры. В созданные пазы при помощи талрепов будут установлены полотна ленточных пил с последующей запрессовкой на высоту зубьев механическим способом (при помощи кувалды или молотка). Из-за пластичности древесины метод запрессовки не даёт необходимого сцепления армирующих элементов с деревом, поэтому применяется клеевая композиция. Пазы предлагается заполнить клеевой композицией, состоящей из эпоксидной смолы ЭД-20, полиэтиленполиамиона (отвердитель), кварцевого песка или портландцемента класса не ниже 32,5 (наполнитель) и дибутилфталата (пластификатор). Заполнение пазов клеевой композицией осуществляется в два этапа – сначала производится предварительный пролив клеем на $1/4$ глубины фрезерования, затем устанавливаются полотна пил, далее – заполняется оставшееся пространство до совпадения поверхности вклейки с верхней плоскостью деревянной балки. Металлические элементы в данном случае требуют защиты от температурных воздействий для соответствия противопожарным нормам. Это реализуется через приклейку защитного слоя древесины на эпоксидные клеевые составы.

Было задано статическое нагружение в виде равномерно распределённой погонной нагрузки от 2 до 26 кН/м.

Расчёт был выполнен для обычной и армированной балок.

При изгибе балки в крайних волокнах возникают напряжения сжатия и растяжения, значения которых в предельном состоянии сопоставляются с временными сопротивлениями. В связи с этим, прочность древесины оценивалась исходя из временных сопротивлений при сжатии и растяжении вдоль волокон для сосны 1 сорта согласно таблицы В.1 СП 64.13330.2017.

Временное сопротивление (предельное значение напряжений) при сжатии вдоль волокон составляет 25 МПа, при растяжении вдоль волокон – 20 МПа.

Согласно расчёту, разрушение наступало при сжимающих напряжениях 25 МПа, что соответствует нагрузке 8 кН для балки марки ДБ и 10 кН – для балки марки ДБА. При растягивающих напряжениях 20 МПа разрушение наступало при 16 кН для балки марки ДБ и при 24 кН для балки марки ДБА.

Согласно натурным испытаниям балок аналогичного сечения в другом исследовании [11], разрушение начиналось в растянутой зоне при достижении расчётного сопротивления. Было принято сравнивать увеличение прочности и снижение деформативности балок марок ДБ и ДБА при наступлении растягивающих напряжений, равных 20 МПа.

Результаты исследования и их анализ

В результате расчёта были получены изополя напряжений в массиве древесины и эпюры усилий в армирующих элементах балок, представленные на рисунках.

Результаты расчёта представлены для половины пролёта балки на рисунках 1-3.

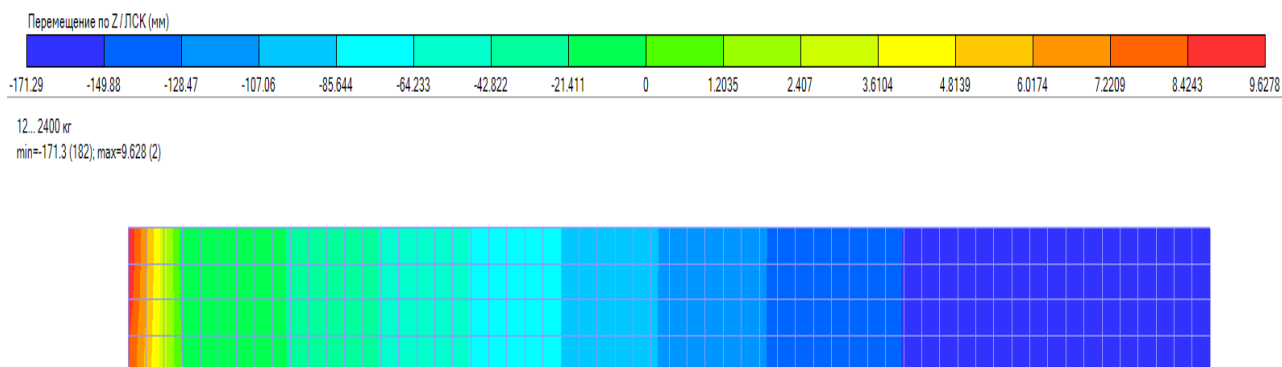


Рисунок 1 – Изополя распределения перемещений вдоль оси Z балки ДБА при разрушающей нагрузке 24 кН

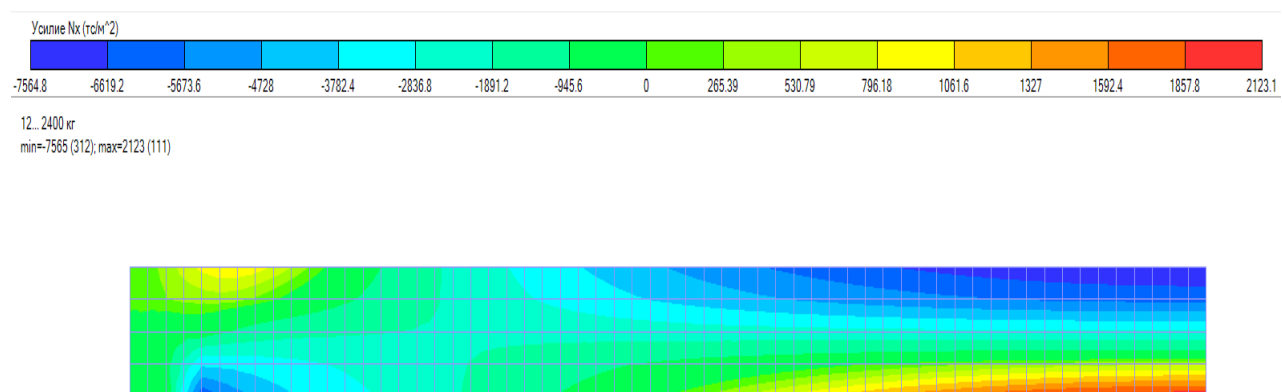


Рисунок 2 – Изополя распределения нормальных напряжений вдоль оси X в балке ДБА при разрушающей нагрузке 24 кН

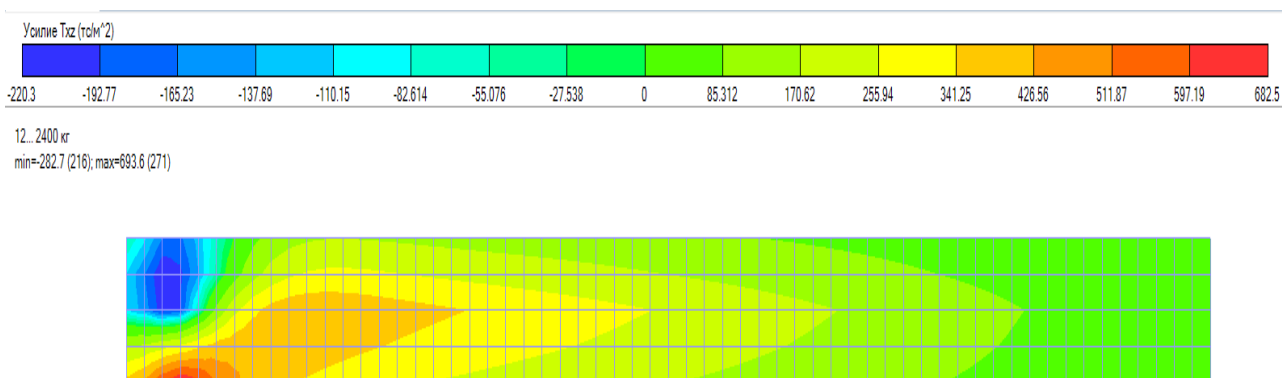


Рисунок 3 – Изополя распределения касательных напряжений в плоскости XOZ в балке ДБ при разрушающей нагрузке 24 кН

Для сравнения результатов расчёта обычной и армированной балок были построены графики, представленные на рисунке 4 а-в.

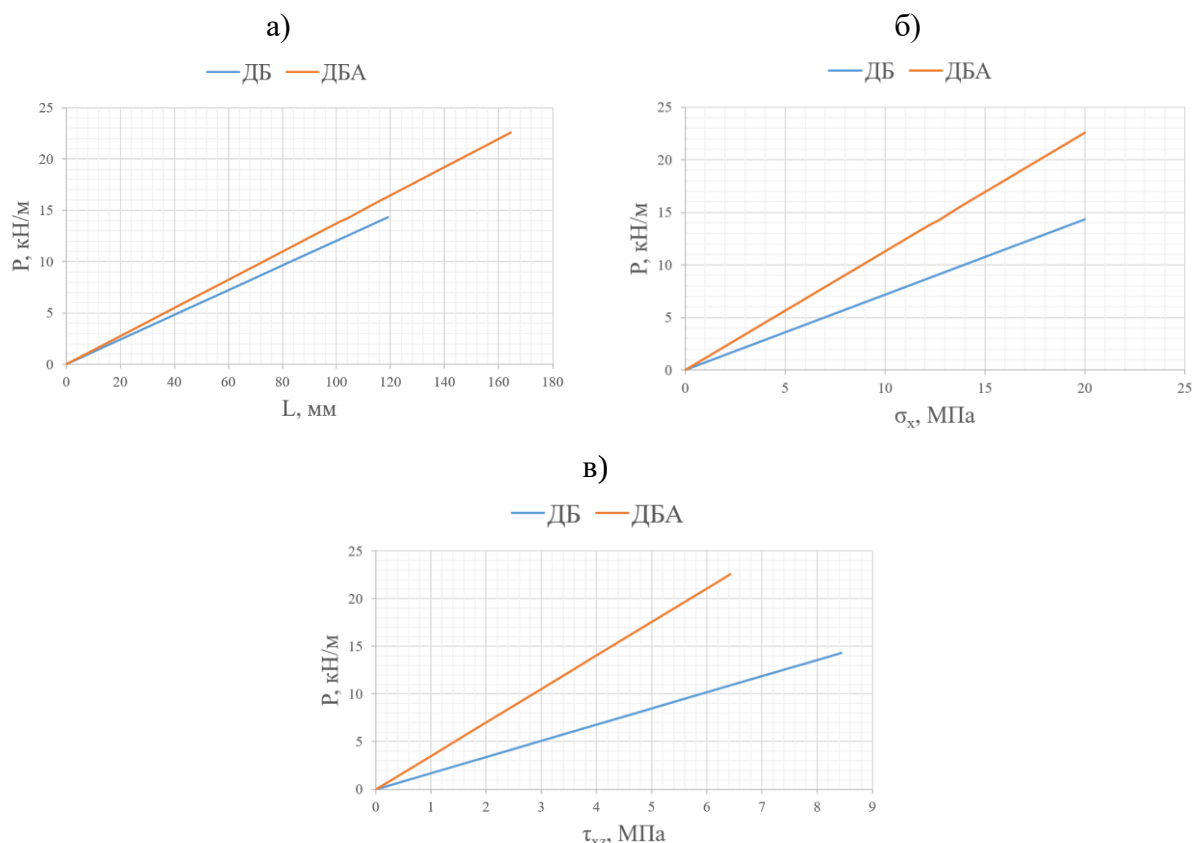


Рисунок 4 – Графики распределения:

- а) прогибов балки в середине пролёта в зависимости от действующей нагрузки;*
б) нормальных растягивающих напряжений в середине пролёта в зависимости от действующей нагрузки;
в) касательных напряжений на опорах в зависимости от действующей нагрузки

Таким образом, прочность балки с армированием увеличилась на 57,9% в сравнении с неармированной балкой, деформативность армированной балки уменьшилась на 12,2%.

Выводы

1. Применение отработанных полотен ленточных пил для армирования деревянных балок позволит вторично использовать техногенные отходы деревообрабатывающих производств в строительстве зданий и сооружений. Создание деревянных балочных конструкций, армированных отработанными полотнами ленточных пил, позволит рационально использовать древесное сырьё в производстве строительных конструкций, расширить сырьевую базу за счёт широкого применения низкосортной древесины с большим количеством пороков и разработать новую технологию армирования деревянных конструкций.

2. Численное моделирование испытания деревянных балок с армированием длиной 6 метров с шарнирным опиранием на равномерно распределённую нагрузку выявили увеличение прочности балки с армированием на 57,9% и снижение деформативности на 12,2%.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2024-0004, госзадание ВлГУ). Исследования проводились с использованием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности/машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение № 075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев С.В., Блохин А.В., Дулевич А.Ф. Ленточные пилы с повышенной долговечностью полотна // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lentochnye-pily-s-povyshennoy-dolgovechnostyu-polotna> (дата обращения: 24.03.2023).
2. Журавлева Л.Н., Девятловская А.Н. Основные направления использования древесных отходов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ispolzovaniya-drevesnyh-othodov> (дата обращения: 24.03.2023).
3. Спицын И.Н. Анализ устойчивости и напряженного состояния ленточных пил для раскроя древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. № 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ustoychivosti-i-napryazhennogo-sostoyaniya-lentochnyh-pil-dlya-raskroya-drevesiny> (дата обращения: 24.03.2023).
4. Воробьев А.А., Спицын И.Н., Кравченко Н.В., Очирова Л.А., Филиппов Ю.А. Исследование влияния вибрации механизма резания дереворежущего ленточнопильного станка на качество поверхности древесины // Успехи современной науки. 2017. Том 4. № 4. С. 178-184.
5. Luca V.De., Marano C. Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 30. Pp. 206-217. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006465>.
6. Peixoto L.S., Soriano J., Mascia N.T., Pellis B.P. Bending behavior of steel bars reinforced glulam beams considering the homogenized cross section. Wood Material Science and Engineering. 2021. Vol. 17. Pp. 1-7. doi:10.1080/17480272.2021.1900392.
7. Gribanov A.S., Rimshin V.I., Roshchina S.I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033039. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033039.
8. Yang H., Liu W., Lu W., Zhu S., Geng Q. Flexural behavior of FRP and steel reinforced glulam beams: Experimental and theoretical evaluation. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 106. Pp. 550-563. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.12.135.
9. Novosel A., Sedlar T., Čizmar D., Turkulin H., Živković V.. Structural reinforcement of bi-directional oak-wood lamination by carbon fibre implants. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 287. Pp. 123073. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123073.
10. İşleyen Ü.K., Kesik H.İ. Experimental and numerical analysis of compression and bending strength of old wood reinforced with CFRP strips. Structures. 2021. Vol. 33. Pp. 259-271. doi:10.1016/j.istruc.2021.04.070.
11. Коцеев, А. А. Рощина С. И. Эффективность прямолинейного армирования деревянных балок перекрытий стальной тросовой арматурой без предварительного натяжения // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2(50). С. 100-105. doi:10.18324/2077-5415-2021-2-100-105.
12. Лукина А.В., Сергеев М.С. Исследование напряженно-деформированного состояния композитных деревянных балок // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений. 2021. С. 183-190.
13. Uchimura K., Shioya S., Hira T. An innovative hybrid timber structure in japan: Experiments on the long term behavior in beam. Paper presented at the WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering. 2016.
14. Granholm H. Armerat Tra Reinforced Timber. 1954. 98 p.
15. Granholm H. Swedjebackens valswerks aktiebolag. 1944. No. 111150, 37, 301.
16. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Назаров Ю.П. Эффективность несущих клееных деревянных конструкций в сейсмических районах строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 10. С. 10-13.
17. Турковский С.Б., Погорельцев А. А., Николаев В. Г. Физкультурно-оздоровительные комплексы Москвы с деревянными стропильными системами покрытий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 8. С. 70-72.
18. Погорельцев А. А., Пятикрестовский К. П. Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 10. С. 33-35.
19. Щуко С. А., Смирнов А. В., Евдокимов А. В. Оптимальное армирование клееных деревянных балок на части длины // Тезисы научно-технической конференции «Повышение качества строительства автодорог в Нечерноземной зоне РСФСР». 1987.
20. Патент на изобретение № SU 958612 A1 – «Деревянная балка». Авторское свидетельство СССР № 3008532, кл. E04C 3/22, 1982 / Скрибо В.И., Шутов Г.И., Шалькевич Е.Б.; патентообладатель Белорусский ордена трудового красного знамени технологический институт им. С. М. Кирова; заявл. 26.11.1980 г.; публ. 15.09.1982 г.
21. Патент на полезную модель № RU 176996 U1 – «Клееная балка». Рос. Федерация: E04C 3/12 / Бокарев С.А., Мурованный И.Ю.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет путей сообщения"; заявл. 2017.06.19 г.; публ. 2018.02.06 г.

22. Gribanov A. S., Roshchina S. I., Popova M. V., Sergeev M. S. Laminar polymer composites for wooden structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 83. Pp. 3-11. doi:10.18720/MCE.83.1.
23. Roshchina S., Lukin M., Lisvatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures. *MATEC Web of Conference*. 2018. Vol. 245. Pp. 03020. doi:10.1051/mateconf/201824503020.
24. Labudin B. V., Popov E. V., Nikitina T. A. Notes for calculated resistance to tension for laminated wood. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 687. Pp. 033028. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033028.
25. Labudin B. V., Popov E. V., Sopilov V. V. Stability of compressed sheathings of wood composite plate-ribbed structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 687. Pp. 033041. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033041.
26. Labudin B., Popov E., Stolypin D., Sopilov V. The wood composite ribbed panels on mechanical joints. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 91. Pp. 02021. doi:10.1051/e3sconf/20199102021.
27. Патент на изобретение № RU 2 225 924 С2 – «Длинномерный несущий строительный элемент». Рос. Федерация: E04C 3/12 / Пятницкий А.А., Пятницкая М.М.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный строительный университет" (МГСУ); заявл. 2012.07.18; публ. 2012.12.20 г.
28. Патент на изобретение № SU 84267 А1 – «Деревянная балка с металлической арматурой». Авторское свидетельство СССР № 84267 п. класс: E04C 3/18 / Поберезкин К.А.; патентообладатель Поберезкин К.А.; заявл. 1949.07.26 г.; публ. 1950.10.10 г.
29. Патент на изобретение № RU 171490 U1 – «Деревянная балка». Рос. Федерация: E04C 3/12 / Веселов В.В.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»; заявл. 2017.02.22 г.; публ. 2017.06.02 г.
30. Патент на изобретение № RU 2 535 865 С1 – «Бипластмассовая балка». Рос. Федерация: E04C 3/07 / Жаданов В.И., Дмитриев П.П., Украинченко Д.А.; патентообладатель Автономная некоммерческая организация научно-технологический парк Оренбургского государственного университета "Технопарк ОГУ" (АНО "Технопарк ОГУ"); заявл. 2013.10.09 г.; публ. 2014.12.20 г.
31. Kreher K., Natterer J., Natterer J. Timber-glass-composite girders for a hotel in Switzerland. *Structural Engineering International*. 2004. Vol. 14. Pp. 149-151. doi:10.2749/101686604777963964.
32. McConnell E., McPolin D., Taylor S. Post-tensioning of glulam timber with steel tendons. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 73. Pp. 426-433. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.079
33. Nowak T. Strength enhancement of timber beams using steel plates – Review and experimental tests. *Drewno*. 2016. Vol. 59. Pp. 75-90. doi:10.12841/wood.1644-3985.150.06.
34. Патент на изобретение № RU 2 225 924 С2 – «Длинномерный несущий строительный элемент». Рос. Федерация: E04C 3/292 / Шабля В.Ф., Кривицкий В.Г., Шапиро Г.И.; патентообладатели Шабля В.Ф., Кривицкий В.Г., Шапиро Г.И.; заявл. 2002.04.16 г.; публ. 2004.03.20 г.
35. Jasieńko, J., Nowak, T. Solid timber beams strengthened with steel plates – Experimental studies. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 63. Pp. 81-88. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.020.

REFERENCES

1. Kiselev S. V., Blokhin A. V., Dulevich A. F. Lentochnye pily s povyshennoy dolgovechnostyu polotna [Band saws with increased blade durability]. *Actual problems of the forest complex*. 2016. No. 46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lentochnye-pily-s-povyshennoy-dolgovechnostyu-polotna> (date of access: 03/24/2023). (rus).
2. Zhuravleva L. N., Devyatlovskaya A. N. Osnovnye napravleniya ispolzovaniya drevesnykh ot-khodov [The main directions of the use of wood waste]. *Actual problems of the forestry complex*. 2007. No. 18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ispolzovaniya-drevesnykh-othodov> (date of access: 03/06/2023). (rus).
3. Spitsyn I. N. Analiz ustoychivosti i napryazhennogo sostoyaniya lentochnykh pil dlya raskroya drevesiny [Analysis of the stability and stress state of band saws for cutting wood]. *Actual problems of the forest complex*. 2011. No. 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ustoychivosti-i-napryazhennogo-sostoyaniya-lentochnykh-pil-dlya-raskroya-drevesiny> (date of access: 03/06/2023). (rus).
4. Vorobyov A. A., Spitsyn I. N., Kravchenko N. V., Ochirova L. A., Filippov Yu. A. Issledovanie vliyaniya vibratsii mekhanizma rezaniya derevozrezhushchego lentochnopilnogo stanka na kachestvo poverkhno-sti drevesiny [Investigation of the influence of vibration of the cutting mechanism of a wood-cutting band saw machine on the quality of the wood surface]. *Successes of modern science*. 2017. Vol. 4. No. 4. Pp. 178-184. (rus).
5. Luca V. De., Marano C. Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 30. Pp. 206-217. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006465>.
6. Peixoto, L. S., Soriano, J., Mascia, N. T., Pellis, B. P. Bending behavior of steel bars reinforced glulam beams considering the homogenized cross section. *Wood Material Science and Engineering*. 2021. Vol. 17. Pp. 1-7. doi:10.1080/17480272.2021.1900392.

7. Gribanov A. S., Rimshin V. I., Roshchina S. I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033039. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033039.
8. Yang H., Liu W., Lu W., Zhu S., Geng Q. Flexural behavior of FRP and steel reinforced glulam beams: Experimental and theoretical evaluation. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 106. Pp. 550-563. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.12.135.
9. Novosel A., Sedlar T., Čizmar D., Turkulin H., Živković V.. Structural reinforcement of bi-directional oak-wood lamination by carbon fibre implants. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 287. Pp. 123073. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123073.
10. İşleyen Ü. K., Kesik H. İ. Experimental and numerical analysis of compression and bending strength of old wood reinforced with CFRP strips. Structures. 2021. Vol. 33. Pp. 259-271. doi:10.1016/j.istruc.2021.04.070.
11. Koshcheev, A. A. Roshchina S. I. Effektivnost pryamolineynogo armirovaniya derevyannykh ba-lok perekrytiy stalnoy trosovoy armaturoy bez predvaritelnogo natyazheniya [Efficiency of rectilinear reinforcement of wooden floor beams with steel cable reinforcement without pretensioning. Systems. Methods. Technologies. 2021. No. 2 (50). Pp. 100-105. doi:10.18324/2077-5415-2021-2-100-105. (rus).
12. Lukina, A. V., Sergeev M. S. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kom-pozitnykh derevyannykh balok [Study of the stress-strain state of composite wooden beams]. Safety of the construction fund of Russia. Problems and Solutions: Proceedings of the International Academic Readings. 2021. Pp. 183-190. (rus).
13. Uchimura K., Shioya S., Hira T. An innovative hybrid timber structure in japan: Experiments on the long term behavior in beam. Paper presented at the WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering. 2016.
14. Granholm H. Armerat Tra Reinforced Timber. 1954. 98 p.
15. Granholm H. Swedjebackens valsverks aktiebolag. 1944. No 111150, 37, 301.
16. Turkovskiy S.B., Pogoreltsev A.A., Nazarov Yu.P. Effektivnost nesushchikh kleennykh dere-vyannykh konstruksiy v seismicheskikh rayonakh stroitelstva [Efficiency of load-bearing glued wooden structures in seismic areas of construction]. Industrial and civil construction. 2009. No. 10. Pp. 10-13. (rus).
17. Turkovskiy S. B., Pogoreltsev A. A., Nikolaev V. G. Fizkulturno-ozdorovitelnye kom-pleksy Moskvy s derevyannymi stropilnymi sistemami pokrytiy [Physical culture and recreation complexes of Moscow with wooden roof systems of coverings]. Building materials, equipment, technologies of the XXI century. 2008. No 8. Pp. 70-72. (rus).
18. Pogoreltsev A. A., Pyatikrestovskiy K. P. Obosnovanie normiruemykh znacheniy moduley uprugosti pri raschetakh derevyannykh konstruksiy [Substantiation of normalized values of elastic modulus in calculations of wooden structures]. Industrial and civil construction. 2013. No. 10. Pp. 33-35. (rus).
19. Shchuko S. A., Smirnov A. V., Evdokimov A. V. Optimalnoe armirovanie kleennykh derevyannykh balok na chasti dliny [Optimal reinforcement of glued wooden beams for parts of the length]. Abstracts of the scientific and technical conference "Improving the quality of road construction in the Non-Chernozem zone of the RSFSR". 1987. (rus).
20. Patent for invention No. SU 958612 A1 – "Derevyannaya balka" ["Wooden beam"]. Copyright certificate of the USSR No. 3008532, cl; E04C 3/22, 1982 / Skiba V. I., Shutov G. I., Shalkevich E. B.; patent holder of the Belarusian Order of the Red Banner of Labor Technological Institute named after S. M. Kirov; application 26.11.1980; publ. 15.09.1982. (rus).
21. Utility model patent No. RU 176996 U1 – "Derevyannaya balka" ["Glued beam"]. Grew up. Federation: E04C 3/12 / Bokarev S.A., Murovanniy I.Yu.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Ways of Communication"; application 2017.06.19; publ. 2018.02.06. (rus).
22. Gribanov A. S., Roshchina S. I., Popova M. V., Sergeev M. S. Laminar polymer composites for wooden structures. Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 83. Pp. 3-11. doi:10.18720/MCE.83.1.
23. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures. MATEC Web of Conference. 2018. Vol. 245. Pp. 03020. doi:10.1051/mateconf/201824503020.
24. Labudin B. V., Popov E. V., Nikitina T. A. Notes for calculated resistance to tension for laminated wood. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033028. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033028.
25. Labudin B. V., Popov E. V., Sopilov V. V. Stability of compressed sheathings of wood composite plate-ribbed structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033041. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033041.
26. Labudin B., Popov E., Stolypin D., Sopilov V. The wood composite ribbed panels on mechanical joints. E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. Pp. 02021. doi:10.1051/e3sconf/20199102021.
27. Patent for invention No. RU 2 225 924 C2 – "Dlinnomernyy nesushchiy stroitelnyy element" ["Long-bearing construction element"]. Rus. Federation: E04C 3/12 / Pyatnitsky A. A., Pyatnitskaya M. M.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State University of Civil Engineering" (MGSU); application 2012.07.18; publ. 2012.12.20. (rus).
28. Patent for invention No. SU 84267 A1 – "Derevyannaya balka s metallicheskey armaturoy" ["Wooden beam with metal reinforcement"]. Copyright certificate of the USSR No. 84267 P. class: E04C 3/18 / Poberezkin K. A.; patent holder Poberezkin K. A.; application 1949.07.26; publ. 1950.10.10. (rus).

29. Patent for invention No. RU 171490 U1 – "Derevyannaya balka" ["Wooden beam"]. Rus. Federation: E04C 3/12 / Veselov V. V.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "St. Petersburg State University of Ways of Communication of Emperor Alexander I"; application 2017.02.22; publ. 2017.06.02. (rus).
30. Patent for invention No. RU 2,535,865 C1 – "Biplastmassovaya balka" ["Biplastic mass beam"]. Rus. Federation: E04C 3/07 / Zhadanov V. I., Dmitriev P. P., Ukrainchenko D. A.; patent holder Autonomous Non-commercial organization Scientific and Technological Park of Orenburg State University "Technopark OSU" (ANO "Technopark OSU"); application 2013.10.09; publ. 2014.12.20. (rus).
31. Kreher K., Natterer J., Natterer J. Timber-glass-composite girders for a hotel in Switzerland. Structural Engineering International. 2004. Vol. 14. Pp. 149-151. doi:10.2749/101686604777963964.
32. McConnell E., McPolin D., Taylor S. Post-tensioning of glulam timber with steel tendons. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 73. Pp. 426-433. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.079
33. Nowak T. Strength enhancement of timber beams using steel plates – Review and experimental tests. Drewno. 2016. Vol. 59. Pp. 75-90. doi:10.12841/wood.1644-3985.150.06.
34. Patent for invention No. RU 2 225 924 C2 – "Dlinnomernyy nesushchiy stroitelnyy element" ["Long-bearing construction element"]. Rus. Federation: E04C 3/292 / Shablya V. F., Krivitsky V. G., Shapiro G. I.; patent holders Shablya V. F., Krivitsky V. G., Shapiro G. I.; application 2002.04.16; publ. 2004.03.20. (rus).
35. Jasieńko, J., Nowak, T. Solid timber beams strengthened with steel plates – Experimental studies. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 63. Pp. 81-88. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.020.

Информация об авторах:

Коршаков Антон Валерьевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
аспирант кафедры строительных конструкций.
E-mail: 89106700238@mail.ru

Лисятников Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Лукин Михаил Владимирович

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: mihail_lukin_22@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций.
E-mail: rsi3@mail.ru

Information about authors

Korshakov Anton V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
assistant of the department of building construction.
E-mail: 89106700238@mail.ru

Lisyatnikov Mikhail S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, associated professor of the department of building construction.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Lukin Mikhail V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, associated professor of the department of building construction.
E-mail: mihail_lukin_22@mail.ru

Roschina Svetlana I.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
doctor of technical sciences, professor, head of the department of building structures.
E-mail: rsi3@mail.ru