

Сергеев М.С., канд. техн. наук, доц.,  
Лукина А.В., канд. техн. наук, доц.,  
Грибанов А.С., аспирант,  
Стрекалкин А.А., студент

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

## РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ БАЛОК С СИММЕТРИЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

[sergeevmichael@inbox.ru](mailto:sergeevmichael@inbox.ru)

В настоящее время железобетонные и металлические конструкции используют в разных отраслях строительства. Однако деревянные конструкции по-прежнему широко распространены. С появлением высокопрочных полимерных материалов стало возможным их применение в балочных конструкциях. Деревокомпозитные балки отличаются более высокой прочностью и трещиностойкостью от цельнодеревянных. Значительную роль в совершенствовании композитных конструкций внесло появление углеродных нанотрубок. В статье приведено исследование деревокомпозитной балки с симметричным армированием растянутой и сжатой зон. Исследование проведено численным методом в программном комплексе «Lira». Этот программный комплекс позволяет отразить действительную работу деревянных конструкций (в том числе с учётом нелинейности) на всех стадиях работы, а также значительно повышает точность расчёта. В статье сделаны выводы о дальнейшем развитии разработанных ранее цельнодеревянных балок усиленных симметричным армированием стекловолокном с УНТ.

**Ключевые слова:** деревокомпозитная балка, применение углеродных нанотрубок, численный расчёт, расчёт конструкций, симметричное усиление стеклокомпозитом.

**Введение.** На протяжении истории деревянные конструкции всё время развивались, вбирая в себя новые элементы. Значительную роль в совершенствовании деревянных конструкций внесло появление и развитие эпоксидных смол. В наше время стремительно развиваются нанотехнологии, в том числе они находят своё применение и в строительстве. Однако, исследований в этом направлении пока проведено очень мало, в частности представляет интерес использование возможностей наноиндустрии для совершенствования деревянных конструкций.

**Основная часть.** Ранее были проведены исследования деревокомпозитных балок с армированием стеклотканью в начале в растянутой зоне, а потом с симметричным усилением растянутой и сжатой зон [1, 2, 7, 8]. При этом в качестве клеевого состава применялась модифицированная углеродными нанотрубками смола ЭД-20. Исследование проведено как численным методом, так и экспериментально на моделях цельнодеревянных балок.

Разрушение композитных балок носило пластический характер, разрушение начиналось со смятия в сжатой зоне, после чего в растянутой зоне образовывалась трещина в месте расположения пороков в виде сучка. Отрыва стеклоткани от древесины и её разрыва не происходило. Экспериментально подтверждено, что разрушение композитных балок происходит только по нормальным сечениям. Это исключает воз-

можность разрушения усиленных балок от скалывания и раскалывания в приопорных участках, т.е. обеспечивает надёжность работы конструкций на действие сдвигающих усилий в опорных сечениях, тем самым, повышая надёжность конструкции против обрушения.

Так как в проведённой работе были исследованы только цельнодеревянные балки, то это накладывает ограничения по пролёту конструкций. В качестве развития данной темы подготавливается проведение эксперимента с клеёными деревянными балками. В предварительном численном исследовании была принята схема послойного армирования клеёной конструкции, когда стеклоткань на модифицированном УНТ олигомере клеивается между каждой пластью набираемой деревянной балки.

Для удобства сравнения результатов с уже полученными данными по цельнодеревянными балкам модель сечения балки и коэффициент армирования приняты аналогичными. Расчёты проведены методом конечных элементов в программном комплексе «Lira». Для получения наиболее достоверных результатов, а так же для оценки напряжённо деформированного состояния конструкций расчёты проведены как в стадии линейной работы, так и физической нелинейной работы древесины. Тем не менее результаты, полученные при использовании МКЭ, должны оцениваться с учетом данных полученных опытным путём.

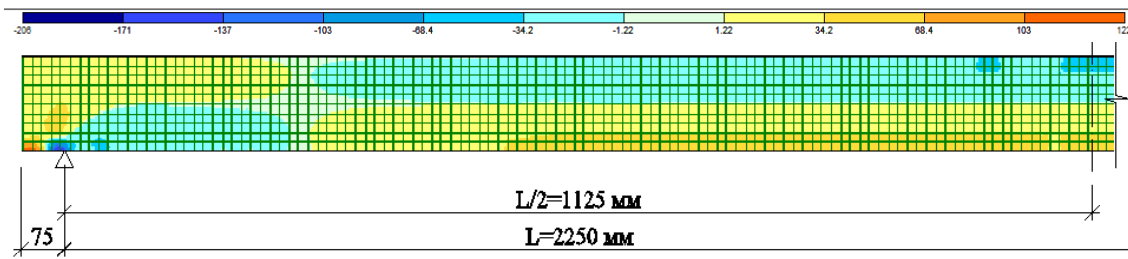


Рис. 1. Эпюра распределения нормальных напряжений при нагрузке 10,4 кН для цельнодеревянной балки

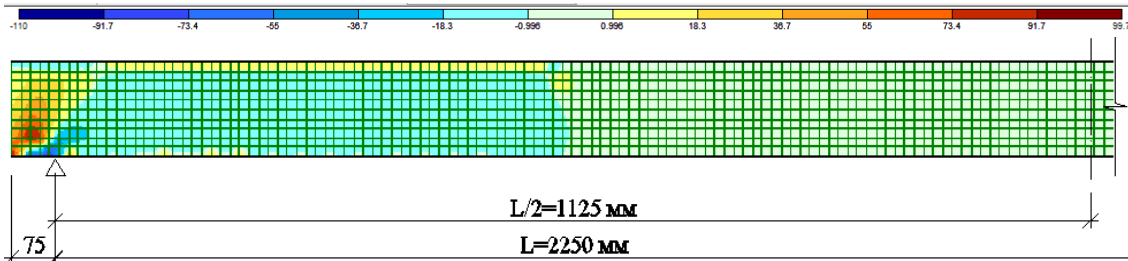


Рис. 2. Эпюра распределения касательных напряжений при нагрузке 10,4 кН для цельнодеревянной балки

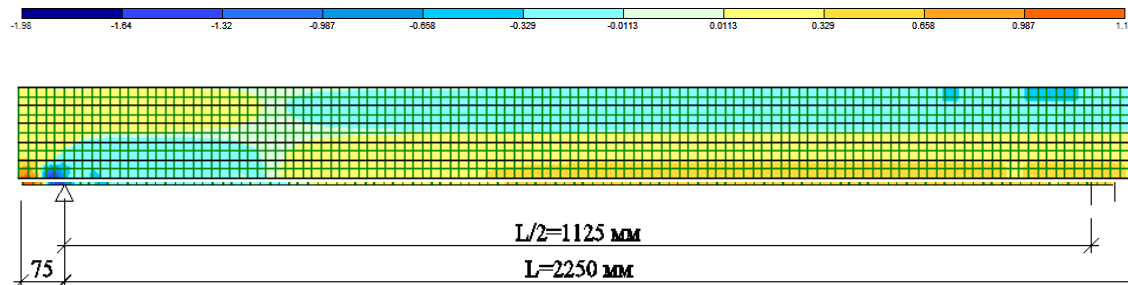


Рис. 3. Эпюра распределения нормальных напряжений при нагрузке 10,4 кН для клеёной балки

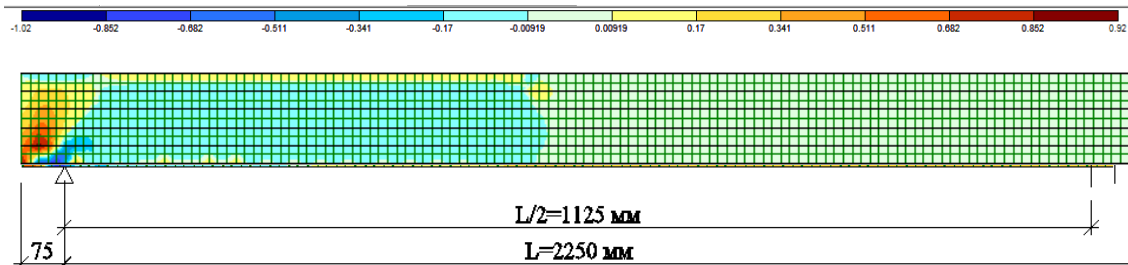


Рис. 4. Эпюра распределения касательных напряжений при нагрузке 10,4 кН для клеёной балки

По результатам предварительных исследований можно наблюдать увеличение прочности и жёсткости моделей клеёных балок на 3...7 % по сравнению с цельнодеревянными. Полученные значения достаточно малы и учитывая погрешность результатов которые даёт численный метод реальное изготовление описанных конструкций представляется не целесообразным, т.к. увеличивая трудоёмкость при изготовлении конструкции не получаем экономической отдачи.

**Выводы.** Наиболее рациональным представляется изготовление «классической» клеёной балки и дальнейшее её симметричное армирование стекловолокном в сжатой и растянутой зонах. В этом случае из-за увеличения сечения балки необходимо и большее количество слоёв стеклоткани, чтобы обеспечить необходимый коэффициент армирования конструкции и воз-

можно необходимо будет перераспределение слоёв между краевой зоной и краем клеевым швом балки, но это уже вопрос дальнейших исследований. Так же представляет интерес развития темы в формате исследований проведённых в [1, 4, 6].

Следует отметить, что применение углеродных нанотрубок в составе клеевой композиции увеличивает трещиностойкость древесины, повышаются адгезионно-когезионные характеристики соединения, поэтому вопрос дальнейшего развития метода на клеёные конструкции является актуальным. Это позволит создавать принципиально новые конструкции, обладающие повышенными прочностными, жесткостными характеристиками и имеющими широкий спектр применения в современном строительстве.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисятников М.С. Совершенствование технологии изготовления деревоклееных конструкций с усилением приопорных зон: диссертация кандидата технических наук. Владимир, 2015.
2. Рощина С.В., Лукин М.В., Лисятников М.С., Марков С.В., Синютин А.В., Голубко А.И. Совершенствование деревокомпозитных балочных конструкций. // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 376–377.
3. Патент RUS 117474 19.12.2011 Рощина С.И., Смирнов Е.А., Репин В.А., Лукин М.В. Деревянная балка.
4. Киселев С.И., Рощина С.И., Смирнов Е.А. Повышение надёжности большепролётных двускатных балок, обоснование применения рационального армирования. строительство-2014: современные проблемы промышленного и гражданского строительства. Материалы международной научно-практической конференции // Институт промышленного и гражданского строительства. 2014. С. 47–50.
5. Рощина С.И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук ГОУВПО "Московский институт коммунального хозяйства и строительства". М., 2009.
6. Бондаренко В.М., Римшин В.И., Рощина С.И., Шохин П.Б. Экспериментальное исследование характеристики и меры ползучести древесины. Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности. Сборник докладов и материалов Международной научно-практической конференции // Институт непрерывного образования, Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства. Москва, 2011. С. 13–16.
7. Рощина С.И., Лукин М.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Расчет композитных деревоклееных балок на основе применения инженерного метода // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 3. С. 90–94.
8. Рощина С.И., Лукин М.В., Лукина А.В., Лисятников М.С. Повышение эксплуатационных свойств древесины, ослабленной биоповреждением, путем модификации клеевой композицией на основе эпоксидной смолы // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 4. С. 182–184.
9. Рощина С.И., Лукин М.В., Сергеева А.Н., Нармания Н.Э. Проектирования вставок при существующей застройке ний. Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы Международных академических чтений // Курский государственный университет. Курск, 2015. С. 33–41.
10. Михайлов В.В., Рощина С.И., Шохин П.Б. Экспериментальное определение меры ползучести древесины // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. С. 219–221.
11. Рощина С.И., Лукин М.В., Сергеева А.Н., Нармания Н.Э. Особенности обследования зданий на предмет возведения жилых вставок. Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения Материалы Международных академических чтений // Курский государственный университет. Курск, 2015. С. 333–337.
12. Roshhina S. I., Lukin M. V., Shohin P. B., Sergeev M. S., Lisyatnikov M. S. Allowance for creep in the study of the reinforced wood-based constructions // Life Science Journal. 2014. №. 11 (9s). Pp. 192–195.

**Sergeev M. S., Lukina A.V., Griбанov A.S., Strekalkin A.A.**

### DEVELOPMENT STUDIES DERIVATISING BEAMS WITH SYMMETRICAL REINFORCEMENT

*Currently, reinforced concrete and metal structures are used in different sectors of the construction. However, wooden structures are still widespread. The advent of high-strength polymer materials made possible their application in beam constructions. Wood composite beams have a higher strength and fracture toughness. A significant part in improving the appearance of composite structures made of carbon nanotubes. The article shows the research wood composite beams with symmetrical reinforcement stretched and compressed zones. The study was conducted as a numerically and experimentally on models of solid wood beams. Numerical study carried out in the software package «Lira». This software package allows you to reflect the real work of wooden structures at all stages of the work and significantly improves the accuracy of the calculation. Article conclusions on further development of previously developed solid wood beams reinforced with glass fiber reinforcement symmetrical with CNTs.*

**Key words:** Wood composite beam, application of carbon nanotubes, a numerical calculation, structural analysis, symmetrical fiberglass reinforcement.

**Сергеев Михаил Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.  
Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых  
Адрес: Россия, 600014, Владимир, ул. Горького д. 87.  
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru

**Лукина Анастасия Васильевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.  
Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых  
Адрес: Россия, 600014, Владимир, ул. Горького д. 87.  
E-mail: pismo.33@yandex.ru

**Грибанов Алексей Сергеевич**, аспирант кафедры строительных конструкций.  
Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых  
Адрес: Россия, 600014, Владимир, ул. Горького д. 87.  
E-mail: panecito@bk.ru

**Стрекалкин Артём Андреевич**, студент кафедры строительных конструкций.  
Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых  
Адрес: Россия, 600014, Владимир, ул. Горького д. 87.  
E-mail: a.a.strekalkin@gmail.com