

DOI: 10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118

Попова М.В., канд. техн. наук, доц.,
Шохин П.Б., канд. техн. наук, доц.,
Глебова Т.О., аспирант,
Шабардина Н.Д., бакалавр

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

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время в условиях глобализации, увеличения демографической численности планеты, истощения природных ресурсов при все возрастающем их потреблении, остро стоит вопрос о рациональном использовании природных ресурсов. На той территории, где формировалась Русь, основными строительными материалами были дерево и глина. Как известно, древесина является возобновляемым природным ресурсом, к тому же экологически чистым. Эксплуатационные качества древесины благодаря развитию современных технологий можно значительно усовершенствовать, расширить область их применения и повысить прочность. Применение деревянных конструкций становится все более технологичным и, таким образом, сфера их применения существенно возрастает. В деревянном малоэтажном строительстве с целью продления сроков эксплуатации, обеспечения более надежной работы конструктивных элементов, важной и актуальной задачей является применение материалов с применением наноклеевых композиций. В ходе проведенной работы получены новые результаты экспериментально-теоретических исследований, отражающие особенности работы деревокомпозитных конструкций с включением в клеевую композицию углеродных нанотрубок. Подтверждена возможность повышения прочностных и жесткостных характеристик деревокомпозитных балочных конструкций, что приводит к повышению эксплуатационной надежности конструкций. Разработаны на теоретическом уровне и подтверждены опытным путем количественные значения прочностных и деформационных характеристик деревокомпозитных балочных конструкций, с учетом ползучести и физической нелинейности. Для расчета усиленных элементов определены коэффициенты, которые необходимо вводить в общепринятые формулы определения краевых напряжений и прогибов.

Ключевые слова: *деревоклееная композитная балка, стеклоткань на основе базальтового волокна, эпоксидная матрица, краевые напряжения и прогибы.*

Введение: Древесина как природный материал имеет широкий спектр свойств, которые дают возможность повсеместно использовать ее в разных отраслях жизнедеятельности человека: домостроении, деревообрабатывающей, энергетике, транспорте, и др. [1], [2]. Перед исследователями стоит ключевая техническая задача - увеличение эффективности применения древесины за счет использования конструкций и изделий с малой материалоемкостью и высокими эксплуатационными характеристиками.

В настоящее время целесообразно применять новые материалы и технические решения на основе наноклеевых композиций, которые дают возможность оптимально использовать древесину при производстве новых видов деревянных конструкций, при усилении сопряжений и узлов. Подобные решения способствуют повышению надежности деревянных конструкций при эксплуатации, помогают снизить расход древесины и создать конструкции с повышенными прочностными и жесткостными характеристиками и параметрами [3].

Методология: Наиболее эффективно исследовать напряженно-деформированное состояние строительных конструкций можно при проведении экспериментальных исследований с использованием следующих методов: метода муаровых полос, метода фотоупругости, метода голографической интерферометрии и метода тензометрии [4].

В отличие от метода тензометрии первые три метода позволяют получить из эксперимента общую картину деформирования элемента в наглядной форме. Необходимой детализации в отдельных областях элемента при исследовании напряжений и деформаций можно достигнуть с помощью соответствующей обработки области и привлечения уравнений теории упругости.

Метод тензометрии был выбран для проведения экспериментальных исследований композитных балок, так как он один дает количественную картину перемещений и напряжений, а не качественную, как остальные вышеперечисленные методы. Численные значения напряжений важны в данной работе для подтверждения теоретических исследований.

Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет получить наглядное представление о распределении напряжений в теле конструктивного элемента. Лабораторная и экспериментальная база Владимирского государственного университета имеет в своем распоряжении необходимую аппаратуру для проведения тензометрических измерений. Большое количество испытаний проведено с применением тензометрической аппаратуры, этот метод является апробированным.

При планировании эксперимента определено требуемое количество образцов для установления статистических характеристик материала моделей, а также оптимальное число испытываемых конструкций. Исследования были проведены на четырех вариантах композитных балок, они основывались на вопросах теоретических

расчетов прочности и деформативности композитных балок, применяемых в деревянном домостроении, опирались на результаты системного анализа современных деревоклееных конструкций, а также на вопросы теоретических расчетов прочности.

Основная часть. Работа по исследованию деревоклееных балок была разбита на два этапа. Задачей первого этапа было определение интегрального модуля упругости деревоклееных балок, который в отличие от расчетного модуля упругости учитывает пороки и неоднородность структуры древесины. По тождественным показателям на этом этапе была выполнена подборка заготовок балок. Балка, выполненная из цельной древесины, являлась эталонной, поэтому ее показатели сравнивались с исследуемыми балками (рис. 1).

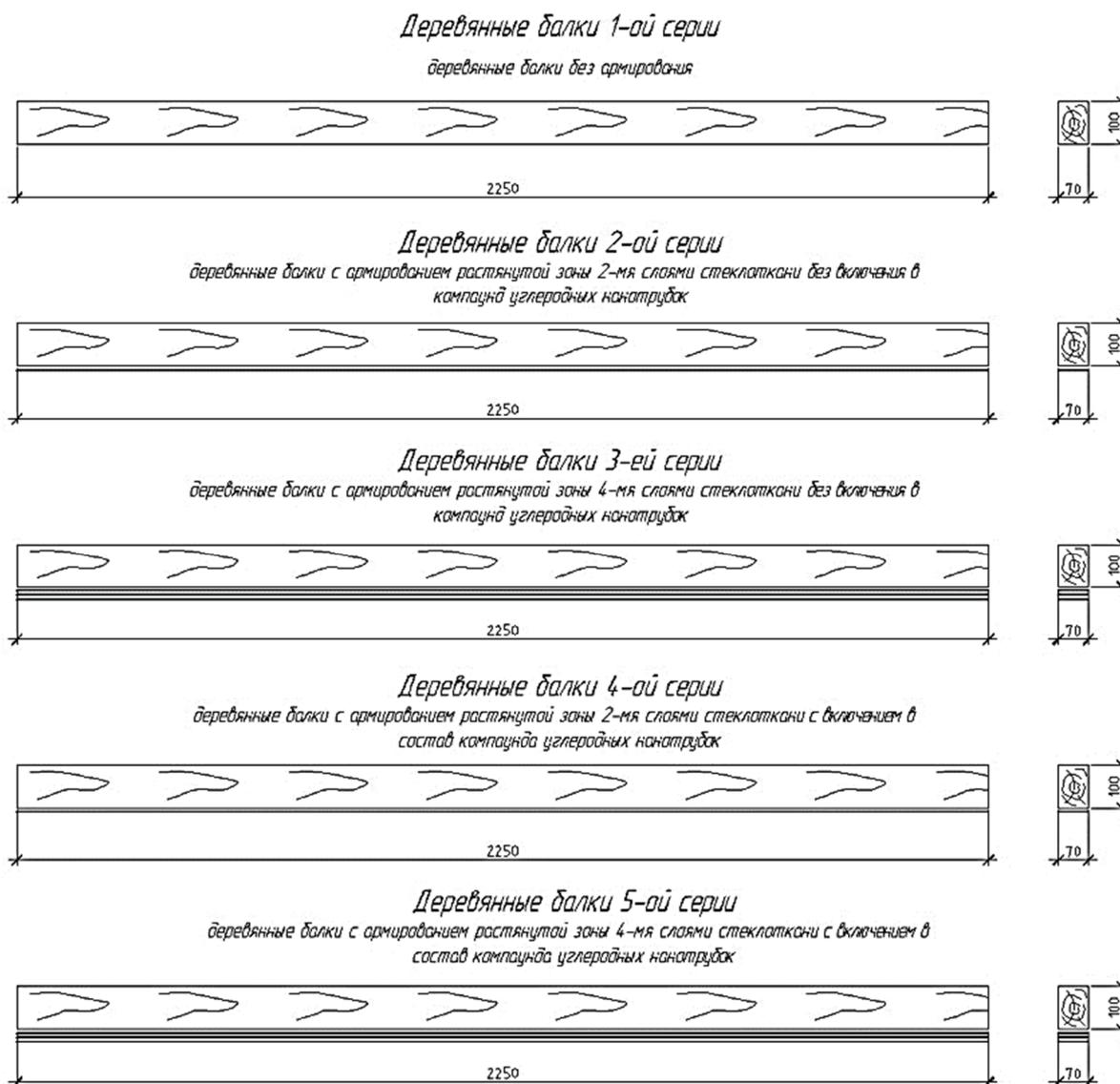


Рис. 1. Геометрические параметры и характеристики испытываемых балок

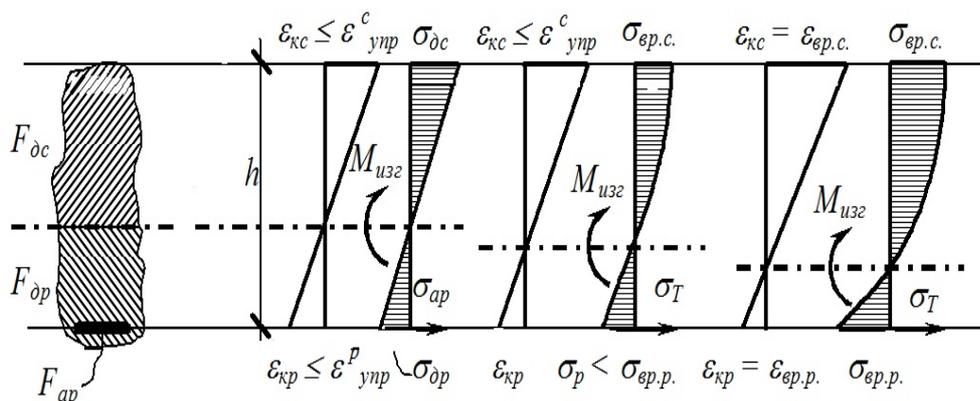


Рис. 2. Три стадии напряженно–деформированного состояния армированного деревянного элемента, работающего на изгиб: а) условно – упругая; б) упруго – пластическая; в) стадия разрушения

Связь между древесиной и предложенным усилением на всех трех стадиях нагружения не нарушается вплоть до момента разрушения, которое происходит из-за разрыва растянутых волокон древесины в зоне наибольших усилий или скалывания (раскалывания поперек волокон) древесины в приопорных зонах от действия главных растягивающих напряжений [6].

Таким образом, в основу расчета деревокомпозитных конструкций положена первая стадия напряженно-деформированного состояния. При этом считается, что связь между элементом усиления и древесиной непрерывна по длине конструкции и обеспечивает их полную совместную работу на весь срок эксплуатации. Рассмотрим стадии напряженно-деформированного состояния испытываемых балок.

1. Первая стадия – стадия условно-упругой работы (рис. 2, а), характеризуется значением деформаций, не превосходящим предельные значения упругих деформаций древесины и армирующего слоя. Для древесины – $\epsilon_d \leq \epsilon_{упр}$; для армирующего слоя – $\epsilon_a \leq \epsilon_T$. После снятия нагрузки у армированных элементов на первой стадии остаточные деформации незначительны или вообще отсутствуют, что дает право их не учитывать. Так как при малых напряжениях несколько нарушается линейная взаимосвязь между напряжениями и деформациями древесины (особенно при сжатии) (рис. 3), разбирать первую стадию напряженно-деформированного состояния можно лишь как условно-упругую.

2. Вторая стадия – стадия упругопластической работы (рис. 2, б), характеризуется появлением пластических деформаций в сжатых волокнах древесины. Пластическая зона формируется в сжатой части сечения, при возрастании нагрузки она распространяется вглубь сечения. При этом нейтральная ось смещается в сторону

растянутых волокон древесины, так как происходит перераспределение напряжений. Деформации растянутых волокон древесины увеличиваются до значения предела пропорциональности, а в армирующем слое достигают предела прочности. Работа элемента на этой стадии характеризуется появлением значительных остаточных деформаций.

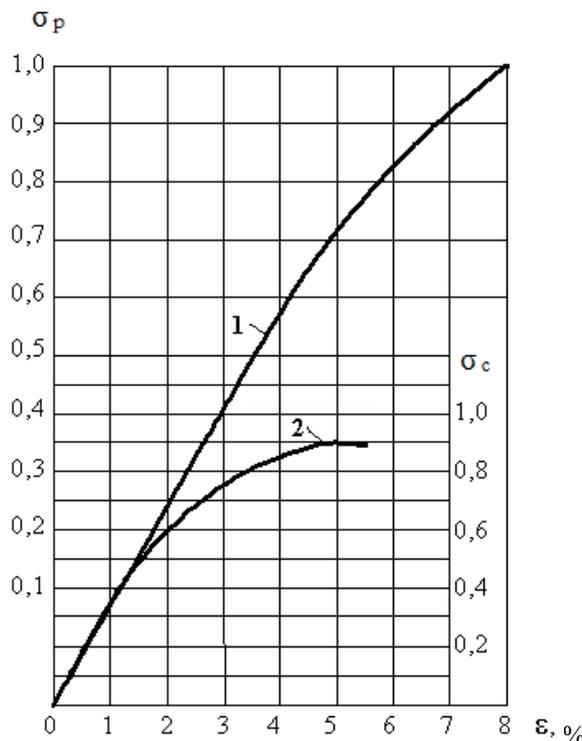


Рис. 3. Приведенные диаграммы работы древесины (сосна) по Белянкину-Прагеру: 1 – растяжение, 2 – сжатие

3. Третья стадия – стадия разрушения (рис. 2, в), характеризуется значительным увеличением деформативности армированного элемента при малом увеличении нагрузки. Пластические деформации древесины и армирующего слоя достигают максимальных значений. Происходит

разрушение элемента, характер которого зависит от вида армирования (усиления) нижней краевой зоны.

С помощью теории упругости анизотропного тела можно оценить напряженно-деформированное состояние армированного элемента на первой стадии работы. Для практических расчетов можно воспользоваться аппаратом сопротивления материалов для частного случая анизотропного тела – трансропного тела [7].

Производить оценку предельной несущей способности и напряженно-деформированного состояния на второй и третьей стадиях работы необходимо с учетом упругопластической работы материалов, составляющих композицию [8], [9], [10], [11].

С точки зрения проектирования прикладным является инженерный метод расчета деревянных конструкций по приведенным геометрическим характеристикам. Этот метод опираясь на действующие нормы проектирования деревянных конструкций с достаточной степенью точности позволяет оценивать их несущую способность и деформативность в упругой стадии работы.

При выполнении расчета определялась несущая способность и деформативность композитных балок, выполнялся подбор количества слоев стеклоткани в растянутой зоне [12].

На первичном этапе расчета были установлены приведенные геометрические характеристики сечения деревоклееной композитной балки, необходимые для расчета конструкции инженерным методом:

- площадь приведенного сечения:

$$F_{np} = b \cdot h \cdot (1 + \mu \cdot n) \quad (1)$$

- статический момент инерции:

$$S_{np} = b \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu \cdot n}{h} \cdot h_1 \right) \quad (2)$$

- момент инерции:

$$I_{np} = \frac{b}{3} \cdot (y_c^3 + h_c^3) + I_{mc} + b \cdot h \cdot \mu \cdot n \cdot (h_c + h_1)^2 \quad (3)$$

- момент сопротивления соответственно для сжатой и растянутой зон:

$$W_{np}^c = \frac{I_{np}}{h_c} \quad (4)$$

$$W_{np}^p = \frac{I_{np}}{y_c} \quad (5),$$

где $F_{op} = b \cdot h$ – площадь древесины;

$\mu = \frac{F_a}{F_{op}} = \frac{F_a}{b \cdot h}$ – коэффициент армирования; F_a – площадь армирующего слоя;

$n = \frac{E_a}{E_{op}}$ – коэффициент приведения; h_1 – тол-

щина армирующего слоя; h – высота сечения; $h_c = h_0 - y_c$ – высота сжатой зоны сечения;

$$y_c = \frac{S_{np}}{F_{np}} = \frac{b \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu \cdot n}{h} \cdot h_1 \right)}{b \cdot h \cdot (1 + \mu \cdot n)} = \frac{h \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu \cdot n}{h} \cdot h_1 \right)}{(1 + \mu \cdot n)}$$

- положение центра тяжести сечения.

Расчет был произведен по известным формулам сопротивления материалов по двум группам предельных состояний [10].

Расчет по древесине на действие максимального изгибающего момента выполнен для сечений с наибольшими напряжениями, которые находятся в середине пролета балки.

Для шарнирно опертой балки на двух опорах при загрузке ее точечной нагрузкой в середине пролета изгибающий момент определяется по следующей формуле:

$$M = \frac{P \cdot l}{4} \quad (6)$$

Расчетное сопротивление древесины при растяжении с учетом усиления должно превышать максимальные нормальные напряжения в древесине растянутой зоны:

$$\sigma_p = \frac{M}{W_{np}^p \cdot k_{yw}} \leq R_p \quad (7)$$

k_{yw} – коэффициент «усиления», получаемый экспериментально [13].

Расчетное сопротивление древесины на сжатие должно превышать максимальные нормальные напряжения в сжатой зоне древесины:

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{np}^c} \leq R_c \quad (8)$$

Расчет на устойчивость плоской формы деформирования выполнен с учетом нормальных напряжений при действии максимального изгибающего момента, определяемых по формуле:

$$\sigma_u = \frac{M}{\varphi_m \cdot W_{np} \cdot k_{yw}} \leq R_u \quad (9)$$

где

$$\varphi_m = 140 \cdot \frac{b^2}{l_p \cdot h} \cdot k_{\varphi} \quad (10)$$

Расчет по второй группе предельных состояний состоит в определении максимального вертикального перемещения и сравнении его с предельно допустимым.

На первоначальном этапе вычисляют прогиб балки постоянного сечения высотой h пролетом l без учета деформаций сдвига на действие равномерно распределенной нагрузки P ;

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{P^n \cdot l^4}{E \cdot I_{np}} \cdot k_t \quad (11)$$

Наибольший прогиб в середине пролета балки не должен превышать предельно допустимого прогиба:

$$f = \frac{f_0}{k} \cdot \left(1 + c \cdot \left(\frac{h_0}{l} \right)^2 \right) \leq f_{np} \quad (12)$$

где $k=1$ – коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения; $c = 15,4 + 3,8 \cdot \beta$ – коэффициент, учитывающий влияние деформа-

ций сдвига от поперечной силы; $k_{уж}$ – коэффициент «ужесточения», который определен экспериментально [14].

Усиление стеклотканью повышает несущую способность деревокомпозитных балок на 34...56 % и уменьшает деформативность на 24...42 % по сравнению с обычными деревянными балками. Усиление стеклотканью с применением наноклеевой композиции повышает их несущую способность на 25...27 % и уменьшает деформативность на 20...25 % по сравнению с балками без применения углеродных нанотрубок [15]. Результаты испытаний композитных балок пролетом 2,25 м представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний композитных балок пролетом 2,25 м

Серии балок	Сечение		Нагрузка Р, кг	Деформации $\epsilon \times 10^{-4}$		Прогибы, мм	Разрушающая нагрузка, кг
	h, мм	b, мм		Древесина			
				сжат	раст		
БД-1	100,0	70,1	1040	19,63	21,62	7,47	1180
БД-2	100,2	69,0	—”—	19,60	21,75	7,52	1200
БД-3	99,8	70,0	—”—	19,57	21,72	7,45	1160
БК-1-1	101,1	60,8	1250	15,94	13,48	8,88	1750
БК-1-2	100,8	70,0	—”—	15,88	13,59	8,92	1830
БК-1-3	101,0	70,3	—”—	15,88	13,44	8,90	1820
БК-2-1	101,9	70,0	1400	20,48	14,54	9,09	2120
БК-2-2	102,3	70,1	—”—	20,48	14,46	9,22	2150
БК-2-3	102,1	70,0	—”—	20,53	14,50	9,25	2030
БКУНТ-1-1	101,2	69,7	1250	15,31	10,95	7,95	2400
БКУНТ-1-2	101,0	69,9	—”—	15,26	10,90	7,90	2420
БКУНТ-1-3	101,2	69,9	—”—	15,32	10,87	7,93	2400
БКУНТ-2-1	102,4	70,0	1400	20,50	11,00	8,0	2680
БКУНТ-2-2	102,4	70,2	—”—	20,53	10,98	7,98	2690
БКУНТ-2-3	102,2	69,8	—”—	20,44	11,02	8,02	2730

Маркировка балок:

- Серия БД – деревянные балки без армирования;
- Серия БК-1 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, проклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;
- Серия БК-2 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, проклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;
- Серия БКУНТ-1 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок концентрацией 0.3 %;
- Серия БКУНТ-2 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок концентрацией 0.3 %.

Выводы. В ходе проведения исследований было установлено, что инженерный метод расчета рекомендуется применять для деревокомпозитных конструкций в упругой стадии работы древесины. Для расчета усиленных элементов в общепринятые формулы определения краевых напряжений и прогибов необходимо вводить коэффициенты «упрочнения» $k_{ув}=1,25 \dots 1,5$ и коэффициенты «ужесточения» $k_{уж}=1,3 \dots 1,55$, полученные экспериментальным путем [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рощина С.И., Лукин М.В., Лисятников М.С., Сергеев М.С. Реконструкция покрытия над одноэтажной пристройкой льнопрядильной фабрики в г. Вязники // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 4 (370). С. 226–230.
2. Рощина С.И., Лисятников М.С., Грибанов А.С., Лисятникова М.О., Стрекалкин А.А. Развитие области применения стеклокомпозитов в деревянных конструкциях // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 5 (993). С. 50-51.

3. Рощина С.И., Лисятников М.С., Мелехов В.И., Лабудин Б.В., Лукин М.В. Применение высоких деревоклееных балок в покрытии зданий текстильных цехов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 5 (365). С. 267–271.

4. Пат. 117474 Российская федерация, Деревянная балка. / Рощина С.И., Смирнов Е.А., Репин В.А., Лукин М.В.; заявитель и патентообладатель ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. № 2011151987/03, заявл. 19.12.11; опубл. 27.06.12, Бюл. № 18. 5 с.

5. Рощина С.И., Лисятников М.С., Грибанов А.С., Глебова Т.О. Расчет и усиление предельно-напряженных приопорных зон высоких деревоклееных балочных конструкций // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 1 (17). С. 187–197.

6. Лисятников М.С. Совершенствование технологии изготовления деревоклееных конструкций с усилением приопорных зон // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 2 (18). С. 137–148.

7. Roshchina S.I., Lukin M.V., Lukina A.V., Sergeyev M.S., Lisyatnikov M.S. Experimental research on pressed-bending reinforced timberwork // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45307–45312.

8. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors // Journal of Industrial Pollution Control. 2017. Т. 33. № 1. С. 1034–1041.

9. Попов Е.В., Филиппов В.В., Лабудин Б.В. Влияние жесткости связей сдвига на напряженно-деформированное состояние деревянных ребристых плит перекрытий / Развитие Северо-Арктического региона: сб. материалов конф. Научная конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Северного (Арктического) федерального

университета имени М.В. Ломоносова // Северный (Арктический) федеральный университет. (Архангельск, 10-14 апреля 2016 г.), Архангельск: Изд-во С(А)ФУ, 2016. С. 95–99.

10. Попов Е.В., Столыпин Д.А., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Напряженно-деформированное состояние панелей на деревянном каркасе с различными вариантами крепления обшивки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 5–2 (25-2). С. 133–139.

11. Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Влияние трещин на напряженно-деформированное состояние клееных деревянных балок / Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: сб. материалов конф. Междунар. академические чтения // Курский государственный университет. (Курск 05-08 апреля 2015 г.), Курск: Изд-во КГУ, 2015. С. 153-158.

12. 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.

13. Roshchina S.I., Lukin M.V., Shokhin P.B., Sergeev M.S., Lisyatnikov M.S. Allowance for creep in the study of the reinforced wood-based constructions // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 9s. С. 192–195.

14. Рощина С.И., Сергеев М.С., Лукина А.В., Лисятников М.С. Исследование деревокомпозитных конструкций с применением эпоксидных олигомеров модифицированных углеродными нанотрубками // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 189–192.

15. Лукин М.В., Рощина С.И., Грибанов А.С. Расчет деформативности композитных балок на основе численных исследований в программном комплексе Lira 9.2 // Строительство и архитектура. 2014. Т. 2. № 1. С. 64–67.

Информация об авторах

Попова Марина Владиславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: popovamv@bk.ru

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Шохин Павел Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: pashka333@bk.ru

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Глебова Татьяна Олеговна, аспирант кафедры строительных конструкций.

E-mail: t.glebova@outlook.com

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Шабардина Надежда Дмитриевна, студент.

E-mail: rsi3@mail.ru

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

Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Поступила в мае 2018 г.

© Попова М.В., Шохин П.Б., Глебова Т.О., Шабардина Н.Д., 2018

M.V. Popova, P.B. Shokhin, T.O. Glebova, N.D. Shabardina
ENGINEERING CALCULATION FEATURES OF WOOD-COMPOSITE DESIGNS

The rational use of natural resources is a pressing issue. Wood is an environmentally friendly and renewable natural resource, so its use in construction can only be welcomed and expanded. Modern technologies allow to improve considerably operational properties of wood, to increase durability. In order to increase the service life and reliability of structural elements, the use of materials on the basis of nanoclay compositions is quite topical in wooden housing construction. In the course of the work we obtained new results of experimental and theoretical studies reflecting the peculiarities of working derivatising designs with the inclusion in the adhesive composition of carbon nanotubes. The possibility of improving tree-composite beam structures with increasing strength and stiffness characteristics is proved, which provides high operational reliability of structures. Obtained theoretically and confirmed experimentally, quantitative values of strength and deformation indicators derivatising beams, taking into account physical nonlinearity and creep. For calculation of the strengthened elements coefficients which need to be entered into the generally accepted formulas of determination of boundary stresses and bends are defined.

Keywords: wood-glued composite beam, glass fiber based on basalt fiber, epoxy matrix, edge stresses and deflections.

REFERENCES

1. Roshchina S.I., Lukin M.V., Letnikov M.C., Sergeev, M.S. Reconstruction of the roof above the single storey annexe flax factory in the town of Vyazniki. News of higher educational institutions. Technology of textile industry, 2017, no. 4 (370), pp. 226–230.

2. Roshchina S.I., Letnikov M.S., Griбанov A.S., Resetnikova M.O., Strekalin A.A. Development of the scope of steklokompozita in wooden structures. BST: Bulletin of construction equipment, 2017, no. 5 (993), pp. 50–51.

3. Roshchina S.I., Letnikov S.M., Melekhov V.I., Labudin B.V., Lukin M.V. Application of the high wooden beams to cover the buildings of textile constructions. News of higher educational institutions. Technology of textile industry, 2016, no. 5 (365), pp. 267–271.

4. Roshchina S.I., Smirnov E.A., Repin V.A., Lukin M.V. Wooden beam. Patent RF, no. 2011151987/03, 2011.

5. Roshchina S.I., Letnikov M.S., Griбанov A.S., Glebova T.O. Calculation and amplification of extremely intense primarnih areas with high wooden beam structures. Journal of Forestry, 2015, vol.5, no. 1 (17), pp. 187–197.

6. Letnikov M.S. Improvement of technology of fabrication of wooden structures with increased primarnih zones. Journal of Forestry, 2015, vol. 5, no. 2 (18), pp. 137–148.

7. Roshchina S.I., Lukin M.V., Lukina A.V., Sergeev M.S., Lisyatnikov M.S. Experimental research on pressed-bending reinforced timberwork. International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, no. 24, pp. 45307–45312.

8. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors. Journal of Industrial Pollution Control, 2017, vol. 33, no. 1, pp. 1034–1041.

9. Popov E.V., Filippov V.V., Labudin B.V. The influence of the stiffness of shear ties on the stress-strain state of ribbed wooden slabs. Development of the North-Arctic region: proceedings of conf. Scientific conf. teaching staff, researchers and graduate students of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. (10-14 April 2016). Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University, 2016, pp. 95–99.

10. Popov E.V., Stolypin D.A., Labudin B.V., Melekhov V.I. The stress-strain state of panels on a wooden frame with various options of fastening of a covering. Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice, 2016, vol. 4, no. 5-2 (25-2), pp. 133–139.

11. Karelsky A.V., Zhuravleva T.P., Labudin B.V., Melekhov V.I. Effect of cracks on the stress-strain state of glued wooden beams. Bezopasnost stroitelnogo fonda Rossii. Safety of the construction Fund of Russia. Problems and solutions: collection of materials Conf. International. academic reading

(05-08 April 2015). Kursk, Kursk state University, 2015, pp. 153–158.

12. Roshchina, S.V., Lukin M.V., Letnikov M.S., Markov S.V., Sinyutin A.V., Golubkov A.I. Improvement derivatising beam structures. Natural and technical Sciences, 2014, no. 9-10 (77), pp. 376–377.

13. Roshchina S.I., Lukin M.V., Shokhin P.B., Sergeev M.S., Lisyatnikov M.S. Allowance for creep in the study of the reinforced wood-based constructions. Life Science Journal, 2014, vol. 11, no. 9s, pp. 192–195.

14. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V., Letnikov M.S. Research derivatising structures using epoxy oligomers modified with carbon nanotubes. Scientific-technical Vestnik of the Volga region, 2013, no. 2, pp. 189–192.

15. Lukin M.V., Roschina S.I., Griбанov A.S. Calculation of deformation of composite beams on the basis of numerical studies in the program complex Lira 9.2. Construction and architecture, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 64–67.

Information about the author

Marina V. Popova, PhD, Assistant professor.

E-mail: popovamv@bk.ru

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Pavel B. Shokhin, PhD, Assistant professor.

E-mail: pashka333@bk.ru.

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Tatyana O. Glebova, Postgraduate student.

E-mail: t.glebova@outlook.com.

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Nadezhda D. Shabardina, Bachelor student.

E-mail: rsi3@mail.ru.

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Received in May 2018

Для цитирования:

Попова М.В., Шохин П.Б., Глебова Т.О., Шабардина Н.Д. Особенности инженерного расчета деревокомпозитных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 36–43. DOI: [10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118](https://doi.org/10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118)

For citation:

Popova M.V., Shokhin P.B., Glebova T.O., Shabardina N.D. Engineering calculation features of wood-composite designs. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 36–43. DOI: [10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118](https://doi.org/10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118)