

DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7491a64.24875481

<sup>1,\*</sup>Прохоров С.В.

<sup>1</sup>Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

\*E-mail: oc204@bk.ru

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ И ХАРАКТЕРА АРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕННЫХ БАЛОК НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ

**Аннотация.** Основными тенденциями современного строительства является производство и применение лёгких строительных конструкций, что позволяет существенно ускорить возведение строительных объектов. При этом немаловажное значение имеет применение конструктивных и отделочных материалов, отвечающих современным экологическим требованиям. Конструктивные элементы зданий и сооружений являлись основными в течение многих веков и имеют широкие перспективы применения в современном капитальном строительстве, так как они обладают достаточно высокой прочностью и жесткостью, являются надёжными и долговечными, в сочетании с малой монтажной массой. В частности, в ряде западных стран уже возводятся высотные здания с применением каркаса из клееных деревянных конструкций. При всей природной стройности структуры хвойных пород древесины, ее трахеиды не стандартны, что является основной причиной изменчивости механических свойств. Дополнительно при расчете клееных армированных конструкций требуется учитывать так называемый «масштабный эффект» при расчете изгибаемых клееных деревянных элементов. Применяемые методы для расчета «низких» армированных балок зачастую дают большую погрешность при расчете «высоких» балок. В работе производится определение более рациональной методики расчета «высоких» балок с симметричным армированием и сравнение вариантов армирования таких балок.

**Ключевые слова:** клееные деревянные конструкции, армированные балки, композитная арматура, расчет деревянных конструкций, деревянные балки.

**Введение.** Деревянные конструкции применяются в строительстве зданий и сооружений на протяжении многих веков. Наряду с положительными качествами, такими как малая монтажная масса, относительно высокая прочность и жесткость, имеются и отрицательные свойства древесины – зависимость свойств от ее строения, пороки, относительно небольшой выход высококачественного пиломатериала из круглого леса, массивность сечений и т.д. Древесина, как известно, имеет клетчатое строение. Клетки состоят из стенок и полостей, и имеют длину значительно больше их поперечных размеров. Вследствие этого сопротивляемость древесины разрушению в различных направлениях резко различна. Это свойство древесины называется ортотропией, и его необходимо учитывать при проектировании деревянных конструкций [1, 2]

Одним из путей устранения указанных недостатков и повышения технико-экономической эффективности клееных деревянных конструкций является армирование её стальными или композитными стержнями [3, 4]

При выборе как металлической, так и стеклопластиковой арматуры для усиления деревянных конструкций необходимо учитывать не только прочностные, но и упругие характеристики, поскольку соотношение нормальных

напряжений в арматуре и древесине при их нормальной совместной работе зависит от величины отношения их модулей упругости [5].

Рассматривая армированные деревянные конструкции как комплексные, следует выбирать арматуру с учетом полного использования ее свойств в зависимости от механических свойств древесины [6, 7].

Вопрос влияния размеров поперечного сечения на сопротивление изгибу клееных конструкций изучался многими авторами [8, 9, 10]. В процессе анализа было установлено, что с увеличением высоты сечения прочность на изгиб клееных конструкций снижается, причем степень снижения не имеет линейной зависимости [11].

В то же время, с увеличением высоты поперечного сечения конструкций происходит снижение прочности на скалывание. Особенно эти явления выражены в приопорной зоне [12, 13].

В ходе анализа работ следует отметить, что испытание стандартных образцов для определения прочности на скалывание и прочности клеевых соединений при изгибе не дает полной картины распределения усилий и поведения конструкции в целом. Для этого испытателям приходилось прибегать к натурным испытаниям с сосредоточенной нагрузкой, что приводит к удорожанию проектирования и расчетов.

Определение величины временного сопротивления скалыванию производилось по формуле, соответствующей параболическому закону распределению напряжений, что не соответствовало схеме загрузки и не могло гарантировать разрушения по касательным напряжениям.

Также не учитывалась работа древесины в сжатой зоне, где из-за армирования растянутой зоны происходило смятие. В ряде исследований не учитывалось влияние размеров сечений на уровне микроструктуры с врожденными макродефектами конструкций.

В настоящий момент для исследования напряженно-деформированного состояния конструкций применяются различные программные комплексы, которые позволяют оценить внутренние напряжения, характер разрушения и влияние армирования [14, 15, 16]

В работе производится определение рациональной методики расчета «высоких» балок с симметричным армированием и сравнение вариантов армирования таких балок с использованием программного комплекса Lira.

**Методология.** Взятая для расчётов деревянная армированная балка представляет собой балку прямоугольного сечения, армированную симметрично двумя стальными стержнями.

Основной материал балки – сосна 2го сорта класса к 24.

Характеристики основного материала:

- нормативное сопротивление древесины изгибу вдоль волокон –  $R_{ii} = 240 \text{ кг/см}^2$ ;
- нормативное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон –  $R_p = 150 \text{ кг/см}^2$ ;
- нормативное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон –  $R_c = 230 \text{ кг/см}^2$
- нормативное сопротивление древесины скалыванию  $R_{ск} = 32 \text{ кг/см}^2$ ;
- модуль упругости древесины вдоль волокон –  $E_d = 100000 \text{ кг/см}^2$ ;
- модуль упругости древесины поперёк волокон –  $E_{90} = 4000 \text{ кг/см}^2$ ;
- коэффициент Пуассона древесины вдоль волокон при напряжениях, направленных поперёк волокон –  $\nu_{0,90} = 0,018$ .

Арматурная сталь:

- временное сопротивление –  $R_{sn} = 4000 \text{ кг/см}^2$  (390МПа);
- расчётное сопротивление –  $R_a = 3750 \text{ кг/см}^2$ ;
- модуль упругости –  $E_a = 2100000 \text{ кг/см}^2$ ;

В настоящее время применяется несколько вариантов методов расчёта армированной деревянной балки:

1. Расчет по приведённым геометрическим характеристикам. Принятые расчётные предположения: древесина при работе на растяжение и

сжатие вдоль волокон принимается как равнодульный материал, материалы комплексной конструкции работают в пределах упругих деформаций с соблюдением гипотезы плоских сечений, деформации арматуры и древесины равны. Расчеты по данной методике носят приблизительный характер и не отражают в полной мере характер работы конструкции под нагрузкой. Кроме того, для «высоких» балок действительные предельные состояния могут не соответствовать расчётным.

2. Расчет с применением программных комплексов по действительным сечениям. Расчётная модель представляет собой пространственный прямоугольный конечный элемент балки-стенки, усиленный стержневыми элементами. Расчёт ведётся с учётом действительной прочности древесины, модули деформаций при сжатии и растяжении не равны. Характер напряженно-деформированного состояния конструкций определяемый по данной методике, более соответствует действительному, однако и здесь не учитывается неоднородность работы вдоль и поперек волокон древесины.

3. Расчётная модель аналогична предыдущей, но добавляются предположения, что модули деформаций вдоль и поперек волокон не равны (ортотропия).

В основу исследования была положена 3 методика, т.е. древесина конструкции при работе на растяжение и сжатие имеет разные модули деформаций вдоль и поперек волокон, материалы комплексной конструкции работают в пределах упругих деформаций с соблюдением гипотезы плоских сечений, деформации арматуры и древесины равны. Данный метод расчета наиболее полно отражает действительный характер работы конструкции под нагрузкой.

**Основная часть.** Основными рабочими сечениями клееных деревянных армированных балок являются  $h = l/10$ ,  $h = l/12$  и  $h = l/15$ . Для исследования были выбраны два варианта поперечного сечения конструкции: «высокая» балка  $100 \times 1815$  (с соотношением  $h/l=1/10$  - максимально рекомендуемое сечение) и «низкая» балка  $200 \times 924$  (с соотношением  $h/l=1/20$  - минимальное сечение). Пролет всех балок составлял 18 метров.

Для расчетов были приняты следующие характеристики материалов:

Для дерева:

- модуль упругости вдоль волокон  $E_1 = 100000 \text{ кг/см}^2$ ;
- коэффициент Пуассона вдоль волокон –  $\nu_{0,90} = 0,018$ ;
- модуль упругости поперек волокон  $E_1 = 4077.4 \text{ кг/см}^2$ ;

- коэффициент Пуассона поперек волокон –  $\nu_{90..0} = 0,45$ ;
- модуль сдвига –  $G = 5000 \text{ кг/см}^2$ ;
- удельный вес материала  $R_0 = 500 \text{ кг/м}^3$ .

Арматура принята по сортаменту «Сталь горячекатаная круглая. Сокращённый сортамент». Профиль 40 мм. Процент армирования  $\mu = 3 \%$ .

На начальном этапе для упрощения расчетов и определения рационального метода армирования использовались конечные элементы для решения линейных задач. Для расчета балки с учетом ортотропии использовались универсальные прямоугольные конечные элементы плоской задачи теории упругости (балка–стенка) КЭ23, КЭ24. Для задания арматуры применялся универсальный стержень КЭ10.

После уточнения оптимального расположения арматуры в теле конструкции и характера армирования использовались конечные элементы для физически нелинейных задач. В частности, тело балки состояло из прямоугольных элементов балки-стенки КЭ221, а на участках сопряжения с арматурой КЭ222. Размеры элементов

определялись исходя из вычислительной мощности компьютера и требуемой точности вычислений. Расчет загрузки конструкции проводился на основе шагового метода.

Для моделирования арматуры использовались универсальные пространственные стержневые конечные элементы КЭ205.

Нагрузка прикладывается в узлы, в каждую точку с шагом 0,2 м, что соответствует равномерно-распределённой нагрузке. Таким образом имеется возможность отследить напряжённо-деформированное состояние балки при пошаговом нагружении.

Т.к. согласно расчету по требованиям пп. 7.14-7.15 СП 64.13330.2017, гибкость сжатого пояса из плоскости превышает 300, для обеспечения устойчивости балок из плоскости изгиба были введены связи по верхнему поясу с шагом 1.5 метра. Тип связей был принят шарнирным в продольном направлении и жестким в поперечном направлении пролета балок.

Кроме этого, в работе рассматривалось два варианта армирования рис.1.

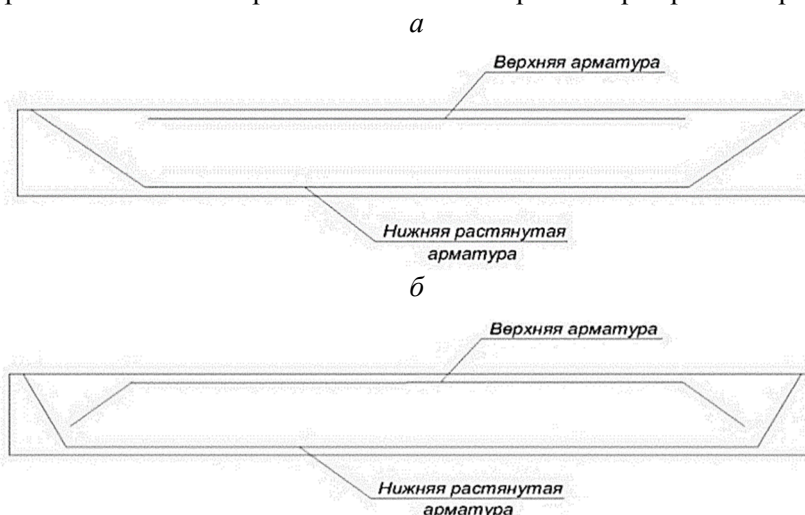


Рис. 1. Варианты армирования клееных деревянных балок:

а – балка с рациональным армированием (вариант 1); б – балка с рациональным армированием (вариант 2)

Основные результаты, требуемые для аналитического сравнения с экспериментальными данными, приведены в таблице 1. Дополнительно

был выполнен расчет по СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции».

Распределение усилий для балок сечением 200×924×18000 показано на рис. 2.

Таблица 1

**Данные расчета для «низких» балок с различными вариантами армирования**

Показатели	Вариант 1		Вариант 2		Инженерный расчет по СП 64.13330.2011
	Нагрузка $q$ , кг/м				
	4750	5000	4750	5000	
Усилия в древесине сжимающие $\sigma_{к.д.с.}$ , МПа	-19.8	-20.8	-19.8	-20.9	21.5
Усилия в древесине растягивающие $\sigma_{к.д.р.}$ , МПа	19.5	20.5	19.2	20.1	21.5
Усилия в арматуре сжимающие $\sigma_{а.с.}$ , МПа	-389.29	-409.12	-379.29	-397.69	-390
Усилия в арматуре растягивающие $\sigma_{а.р.}$ , МПа	389.21	409.08	383.33	402.87	390
Касательные $\tau_{xz}$ , МПа	2.9	3.05	3.13	3.29	1.87
Прогиб $f$ , мм	45	52	45	52	37

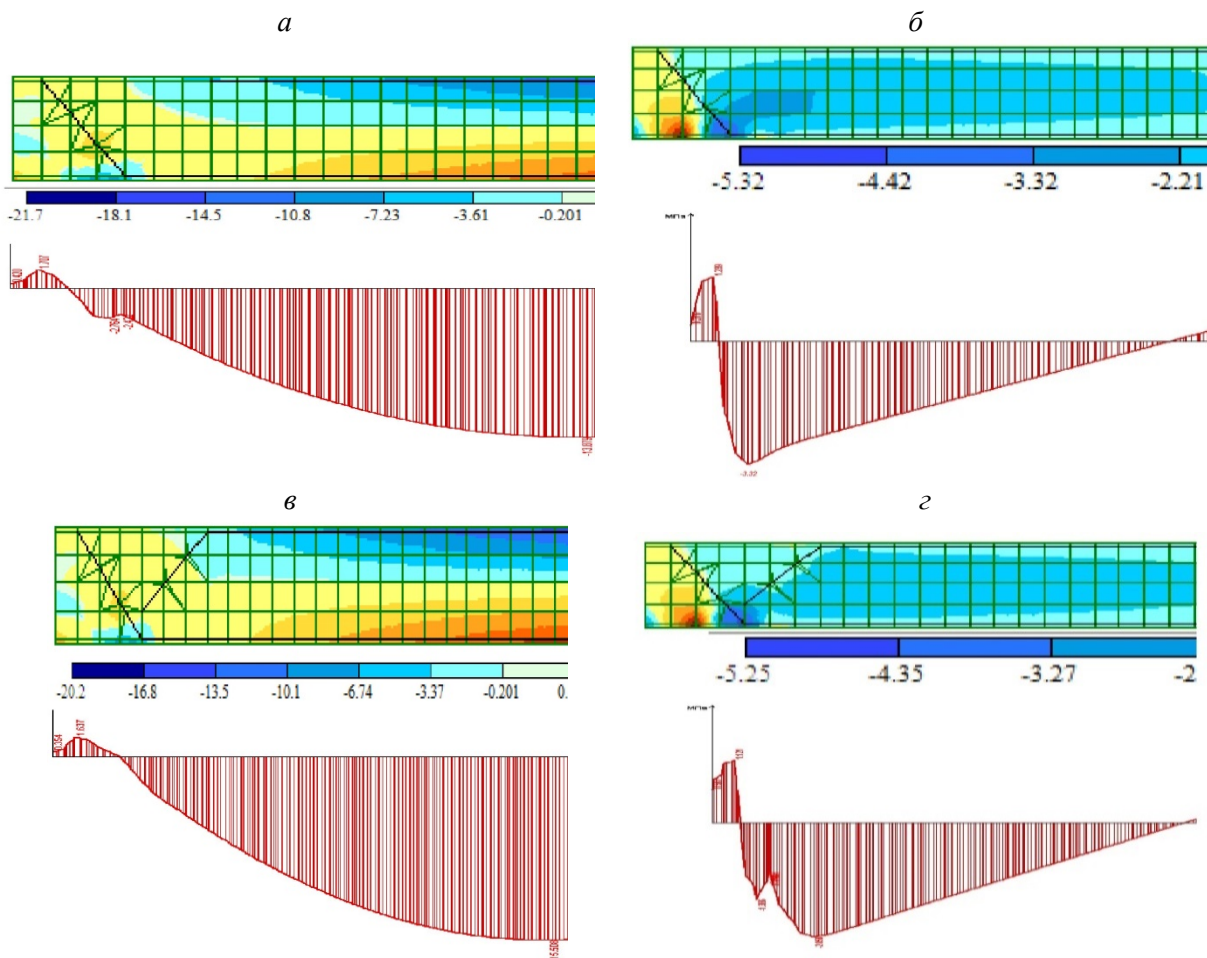


Рис. 2. Распределение нормальных и касательных напряжений в «низких» балках по вариантам:  
 а – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1;  
 б – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1;  
 в – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2;  
 г – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2

При анализе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Разрушение балок произойдет в середине пролёта от достижения в арматуре предельных нормальных напряжений. При этом растягивающие усилия в древесине в растянутой зоне достигнут своих критических значений значительно раньше, что и обуславливает установку арматуры в растянутой зоне.

2. Эпюра распределения касательных напряжений в приопорной зоне зависит от характера армирования, но критические значения достигаются практически при одинаковой нагрузке на разной площади сечения.

3. Для «низких» балок расчет с учетом ортотропии материала показывает, что значение разрушающей нагрузки и характер разрушения не зависит от схемы армирования. При расчете согласно требованиям СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» значение разрушающей нагрузки значительно ниже, чем при определении усилий с учетом ортотропии древесины.

Аналогичные расчеты были проведены для «высоких» балок, результаты которых представлены на рис. 3 и в табл. 2.

Выполнив расчеты и произведя анализ, можно сформулировать следующие выводы:

1. Разрушение балок произойдет на опоре от достижения предельных касательных напряжений.

2. Эпюра распределения касательных напряжений в приопорной зоне носит более выраженный характер по сравнению с «низкими» балками, что приводит к образованию концентраторов напряжения.

3. Для «высоких» балок расчет с учетом ортотропии материала показывает, что значение разрушающей нагрузки и характер разрушения имеет зависимость от схемы армирования.

4. Установка дополнительных отгибов верхней арматуры снижает влияние касательных напряжений, что позволяет повысить устойчивость к увеличению нагрузки, но одновременно с этим возрастают растягивающие усилия в древесине.

Таблица 2

Данные расчета для «высоких» балок с различными вариантами армирования

Показатели	Вариант 1		Вариант 2		Инженерный расчет по СП 64.13330.2011
	Нагрузка $q$ , кг/м				
	5000	5250	6000	6250	4563
Усилия в древесине сжимающие $\sigma_{к.д.с.}$ , МПа	-16.2	-17.1	-17	-16,8	-18
Усилия в древесине растягивающие $\sigma_{к.д.р.}$ , МПа	14.09	14.77	20.3	21.3	18
Усилия в арматуре сжимающие $\sigma_{а.с.}$ , МПа	-242.17	-253.96	-290.54	301.75	-212
Усилия в арматуре растягивающие $\sigma_{а.р.}$ , МПа	248.13	260.19	295.18	302.54	212
Касательные $\tau_{xz}$ , МПа	3.12	3.27	2.94	3.2	3.2
Прогиб $f$ , мм	52	59	56	62	37

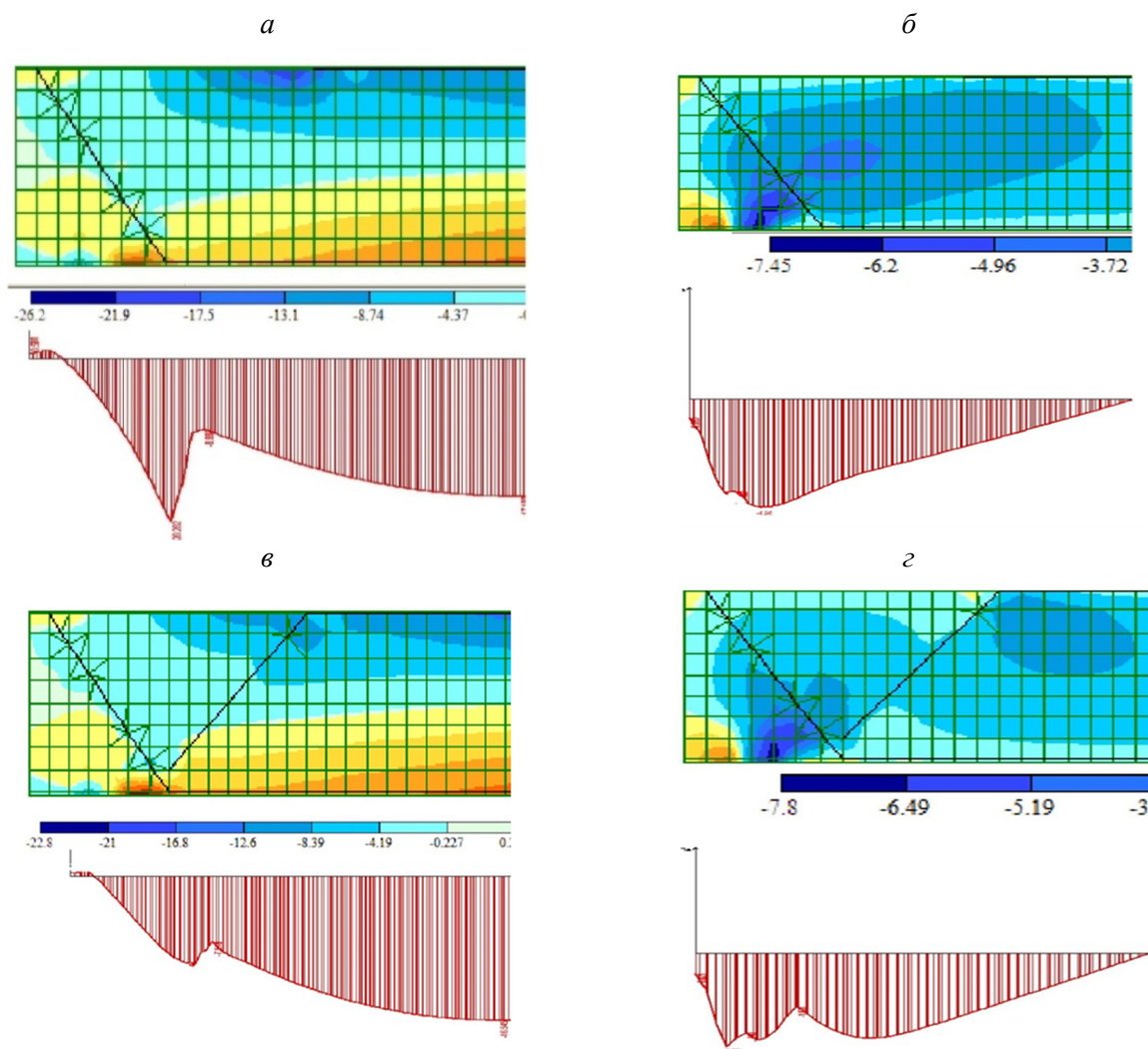


Рис. 3. Распределение нормальных и касательных напряжений в «высоких» балках по вариантам: *а* – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1; *б* – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1; *в* – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2; *г* – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2

**Выводы.** В ходе анализа полученных результатов расчета «высоких» и «низких» клееных армированных деревянных балок с различными вариантами армирования можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Характер разрушения «низких» и «высоких» клееных деревянных балок различен, и при проектировании конструкций необходимо это учитывать.

2. Расчет конструктивных элементов с учетом ортотропии материала, позволяет более точно оценивать распределение напряжений в сечении и производить их проектирование.

3. Для «низких» балок характер армирования не оказывает значительного влияния. При этом следует отметить, что результаты инженерного расчета и расчета в ПК «Lira» имеют расхождение порядка 48 %, что является весьма существенным и требует экспериментального подтверждения. При расчете балок с учетом ортотропии образуется зона равномерного сжатия, но при этом растут прогибы.

5. Для «высоких» балок характер армирования имеет решающее значение на распределение внутренних напряжений по телу конструкции. Наличие зоны включения древесины в работу арматурой приводит к скачкообразному изменению напряжений. При армировании балок по эпюре сжимающих напряжений происходит перераспределение усилий по длине, что приводит к уменьшению на 5 % сжимающих напряжений в древесине и увеличению их в арматуре. Расхождение результатов инженерного расчета и расчета в ПК «Lira» не превышает 9 %. Вариант расчёта (с учётом действительной прочности материала) рекомендуется применять при решении научных задач ввиду его трудоемкости в построении модели.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещерякова А.А., Белоконев В.В. Клеевые деревянные конструкции и перспективы их использования // В сборнике: Поколение будущего: взгляд молодых ученых сборник научных статей 4-й международной молодежной научной конференции: в 3 томах, 2016. С. 45–48.
2. Ключникова О.Н., Гребенщикова Л.С. Особенности применения и расчета клееных деревянных конструкций в строительстве // Вестник магистратуры. 2015. № 2-1 (41). С. 63–71.
3. Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Калиева М.Х., Манапов Р.М. Исследование клееных армированных деревянных конструкций // Наука в цифрах. 2016. № 1. С. 10–13.
4. Yang H., Ju D., Liu W., Lu W. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 109. Pp. 73–83.
5. Soriano J., Pellis B.P., Mascia N.T. Mechanical performance of glued-laminated timber beams symmetrically reinforced with steel bars // Composite Structures, 2016. Vol. 150. Pp. 200–207.
6. Делова М.И. К расчету изгибаемых клееных деревянных конструкций по первой группе предельных состояний // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 52–55.
7. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures // MATEC Web of Conferences, 2018.
8. Рашидов Ш.М., Вишталов Р.И., Устарханов О.М. Оптимальные формы поперечного сечения клееных деревянных балок // Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Под ред. Т.А. Исмаилова, 2015. С. 113–114.
9. Есипов А.В., Сальный И.С., Воробьев Я.В. Расчет прочности нормальных сечений армированных деревянных балок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 49 (68). С. 5–15.
10. Kandler G., Lukacevic M., Zechmeister C., Wolff S., Fussl J. Stochastic engineering framework for timber structural elements and its application to glued laminated timber beams // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 190. Pp. 573–592.
11. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Melenkhov V., Labudin B. Application of high glued wooden beams in the ceiling of buildings textile plants. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. № 5. Pp. 267–271.
12. Чубинский А.Н., Медов В.С. Обоснование методики испытания клеевых соединений древесины на скалывание // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. № 210. С. 180–189.
13. Стоянов В.О., Погорельцев А.А. Исследования балки, армированной полимерными композитами на участках с максимальными нормальными и касательными напряжениями // Строительная механика и расчет сооружений, 2018. № 3 (278). С. 70–74.
14. Гранкин К.В. К расчету сжато-изгибаемых клеелесовых конструкций по деформированной схеме с помощью учета нелинейности в комплексе SCAD OFFICE 11.5 и LIRA SOFT 9.6 // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 4 (35). С. 3.
15. Berg S., Sanberg D., Ekevad M., Vaziri M. Crack influence on load-bearing capacity of glued laminated timber using extended finite element modelling // Wood Material Science and Engineering, 2015. Vol.10(4). Pp. 335–343.

Информация об авторах

**Прохоров Сергей Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства. E-mail: oc204@bk.ru. Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ). Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, д. 87.

Поступила в мае 2019 г.

© Прохоров С.В., 2019

<sup>1,\*</sup>**Prokhorov S.V.**

<sup>1</sup>Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

Russia, 600000, Vladimir, Gorkiy street, 87

\*E-mail: Oc204@bk.ru

## INFLUENCE OF CROSS SECTION HEIGHT AND NATURE OF REINFORCING GLUED WOODEN BEAMS ON THE DISTRIBUTION OF INTERNAL EFFORT

**Abstract.** *The main trends of modern construction is the production and use of light construction structures, which can significantly accelerate the construction of building objects. At the same time, the use of structural and finishing materials that meet modern environmental requirements is important. Structural elements of buildings have dominated for many centuries and have broad prospects for use in modern capital construction: they have high strength and rigidity; they are reliable and durable and have a low installation weight. In particular, in a number of Western countries, high-rise buildings are already being built using a frame made of glued wooden structures. Despite the natural symmetry of coniferous woods structure, its non-standard tracheids are the main reason for the variability of its mechanical properties. In addition, when calculating glued reinforced structures, it is necessary to take into account the so-called "scale effect" when calculating the bent glued wooden elements. The applied methods for the calculation of "low" reinforced beams sometimes give an error in the calculation of "high" beams. In this paper, the definition of a more rational method of calculating the "high" beams with symmetrical reinforcement and comparison of options for reinforcing such beams are performed.*

**Keywords:** *glued wooden structures, reinforced beams, composite reinforcement, calculation of wooden structures, wooden beams.*

### REFERENCES

1. Meshcheryakova A.A., Belokonev V.V. Glued wooden structures and prospects for their use [*Kleenye derevyannye konstrukcii i perspektivy ih ispol'zovaniya*]. V sbornike: Pokolenie budushchego: vzglyad molodyh uchenyh sbornik nauchnyh statej 4-j mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii, 2016. Pp. 45–48. (rus)

2. Klyuchnikova O.N., Grebenshchikova L.S. Features of the application and calculation of glued wooden structures in construction [*Osobennosti primeneniya i rascheta kleyenykh derevyannykh konstruktsiy v stroitel'stve*]. Magistracy Bulletin. 2015. No. 2-1 (41). Pp. 63–71. (rus)

3. Muselemov Kh.M., Ustarkhanov O.M., Kaliyeva M.Kh., Manapov R.M. The study of glued reinforced wooden structures [*Issledovaniye kleyenykh armirovannykh derevyannykh konstruktsiy*]. Science in numbers. 2016. No. 1. Pp. 10–13. (rus)

4. Yang H., Ju D., Liu W., Lu W. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 109. Pp. 73–83.

5. Soriano J., Pellis B.P., Mascia N.T. Mechanical performance of glued-laminated timber beams

symmetrically reinforced with steel bars. *Composite Structures*. 2016. Vol. 150. Pp. 200–207.

6. Delov M.I. To the calculation of flexible glued wooden structures according to the first group of ultimate states. [*K raschetu izgibayemykh kleyenykh derevyannykh konstruktsiy po pervoy gruppe predel'nykh sostoyaniy*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 4. Pp. 52–55. (rus)

7. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures. MATEC Web of Conferences, 2018.

8. Rashidov Sh.M., Vishtalov R.I., Ustarkhanov O.M. Optimal cross-sectional shapes of glued wooden beams [*Optimal'nyye formy poperechnogo secheniya kleyenykh derevyannykh balok*]. Sbornik tezisov dokladov XXXVI itogovoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii prepodavateley, sotrudnikov, aspirantov i studentov FGBOU VO «Dagestanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet». Pod red. T.A. Ismailova, 2015. Pp. 113–114. (rus)

9. Esipov A.V., Salny I.S., Vorobyev Ya.V. Calculation of the strength of normal sections of reinforced wooden beams [*Raschet prochnosti normal'nykh secheniy armirovannykh derevyannykh*

*balok*]. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2017. No. 49 (68). Pp. 5–15. (rus)

10. Kandler G., Lukacevic M., Zechmeister C., Wolff S., Fussl J. Stochastic engineering framework for timber structural elements and its application to glued laminated timber beams. Construction and Building Materials. 2018. Vol.190. Pp. 573–592.

11. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Melenkho V., Labudin B. Application of high glued wooden beams in the ceiling of buildings textile plants. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. No. (5). Pp. 267–271.

12. Chubinsky A.N., Medov V.S. Substantiation of the method of testing glue joints of wood for chipping [*Obosnovaniye metodiki ispytaniya kleyevykh soyedineniy drevesiny na skalyvaniye*]. News of the St. Petersburg Forestry Academy. 2015. No. 210. Pp. 180–189. (rus)

13. Stoyanov V.O., Pogoreltsev A.A. Studies of beams reinforced with polymer composites in areas

with maximum normal and tangential stresses [*Issledovaniya balki, armirovannoy polimernymi kompozitami na uchastkakh s maksimal'nymi normal'nymi i kasatel'nymi napryazheniyami*]. Structural Mechanics and Structures Calculation. 2018. No. 3 (278). Pp. 70–74. (rus)

14. Grankin K.V. To the calculation of compressible-flexible glue-wood constructions according to the deformed scheme by taking into account nonlinearity in the complex SCAD OFFICE 11.5 and LIRA SOFT 9.6 [*K raschetu szhato-izgibayemykh kleyederevyannykh konstruksiy po deformirovannoy skheme s pomoshch'yu ucheta nelineynosti v komplekse SCAD OFFICE 11.5 i LIRA SOFT 9.6*]. Internet journal Naukovedenie. 2016. Vol. 8. No. 4 (35). Pp. 3. (rus)

15. Berg S., Sanberg D., Ekevad M., Vaziri M. Crack influence on load-bearing capacity of glued laminated timber using extended finite element modelling. Wood Material Science and Engineering. 2015. Vol. 10(4). Pp. 335–343.

#### *Information about the authors*

**Prokhorov, Sergey V.** PhD, Assistant professor. E-mail: c204@bk.ru. Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs. Russia, 600000, Vladimir, Gorkiy street, 87.

---

*Received in May 2019*

#### **Для цитирования:**

Проخورов С.В. Влияние высоты поперечного сечения и характера армирования деревянных клеенных балок на распределение внутренних усилий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 33–40. DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7491a64.24875481

#### **For citation:**

Prokhorov S.V. Influence of cross section height and nature of reinforcing glued wooden beams on the distribution of internal effort. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 33–40. DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7491a64.24875481