

DOI: 10.15593/2409-5125/2020.04.03

УДК 624.011.17

А.В. Есипов, С.А. Еренчинов, К.В. Черных

Тюменский индустриальный университет

УЧЕТ ПОДАТЛИВОСТИ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ И ДРЕВЕСИНЫ В АРМИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛКАХ

Приведена методика изготовления и проведения лабораторных испытаний деревянных образцов, армированных стальной стержневой арматурой гладкого и периодического профиля. Целью работы являлись оценка деформативности клеевого соединения и корректировка инженерного метода расчета прочности армированных деревянных балок с учетом податливости клеевого соединения. Актуальность данной темы обусловлена пренебрежением податливостью клеевого соединения материалов (древесины и стальной стержневой арматуры) при расчетах армированных деревянных балок. В результате проведенных лабораторных исследований получены экспериментальные зависимости «нагрузка – деформация» в клеевом соединении для образцов древесины, армированных стержневой арматурой гладкого и периодического профиля. Выполнена корректировка инженерного метода расчета армированных деревянных балок путем введения коэффициента податливости клеевого соединения, полученного на основе экспериментальных данных. Проведен сравнительный анализ результатов инженерного метода расчета с учетом податливости клеевого соединения для симметрично и несимметрично армированных деревянных балок с результатами численного моделирования в программном комплексе Ansys. Опытные исследования подтвердили снижение несущей способности армированных деревянных балок за счет податливости клеевого соединения и, как следствие, позволили более точно оценить несущую способность конструкций с помощью инженерного метода расчета.

Ключевые слова: армированная деревянная балка, клеевое соединение, податливость, арматура, древесина, расчет, эксперимент, упругая стадия.

Введение. Множество положительных свойств древесины позволяют использовать ее в качестве несущих конструкций зданий и сооружений. Еще более эффективным этот материал при работе на изгиб делает его армирование стальными стержневыми элементами, устанавливаемыми в сжатой и растянутой зонах поперечного сечения. При этом совместная работа древесины и армирующих элементов обеспечивается, как правило, клеевым соединением [1–8].

Для оценки несущей способности и определения величин усилий, возникающих в арматуре при нагружении деревянных балок, армированных стержневыми элементами, разработан инженерный метод расчета [9]. В работе [9] рассмотрены сравнительные расчеты, выполненные инженерным методом, и проведенное численное моделирование балок в программном комплексе Ansys с расположением стержней в сжатой и растя-

нудой зонах поперечного сечения с симметричным и несимметричным армированием. Более того, для рассчитанных конструкций проведены лабораторные испытания и определены экспериментальные значения прочности армированных балок [10].

Использование клея в качестве связующего материала для древесины и арматуры делает актуальным вопрос исследования податливости такого соединения и влияния на несущую способность армированных деревянных балок. Существующие нормативные документы¹ не учитывают податливость клеевого соединения при расчете и проектировании таких конструкций. Для более корректного анализа работы деревянных балок, усиленных стержневой арматурой, важно определить величину податливости соединения материалов и учесть ее при расчете армированных деревянных конструкций.

Лабораторные исследования податливости клеевого соединения. Податливость клеевого соединения определяется испытанием деревянных образцов с вклеенным арматурным стержнем, проведенным в лабораторных условиях.

Для изготовления лабораторных образцов используются следующие материалы:

- древесина сосны I сорта стандартной влажности $W = 12\%$ ²;
- стальная арматура гладкого профиля из стали класса А240 и периодического профиля из стали класса А400³;
- эпоксидный клей марки ЭДП на основе эпоксидной смолы ЭД-20⁴ и отвердителя полиэтиленполиамина⁵.

Образец представляет собой деревянный брус составного сечения с фактическими геометрическими размерами 100×100×200 мм. В центре склеенного сечения выполнено отверстие, в которое вклеивается стальной стержень диаметром 8 мм, по обеим торцевым граням образца арматура выступает за грань деревянного элемента на 50 мм. Длина вклеенной час-

¹ СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменениями N 1, 2). М.: М-во строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2017. 92 с.

² ГОСТ 8486–86. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2007. 9 с.

³ ГОСТ 5781–82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). М.: Стандартинформ, 2009. 12 с.

⁴ ГОСТ 10587–84. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия (с Изменением N 1, с Поправкой). М.: Изд-во стандартов, 1989. 20 с.

⁵ ГОСТ Р 50096–2015 (ИСО 4597-1:2005). Пластмассы. Отвердители и ускорители отверждения эпоксидных смол. Часть 1. Обозначения. М.: Стандартинформ, 2016. 7 с.

ти стержня принята по длине анкеровки. Для вклеивания используется эпоксидный клей на основе смолы и отвердителя в соотношении 10:1. Схема образца для испытания представлена на рис. 1, изготовленные в лабораторных условиях образцы изображены на рис. 2.

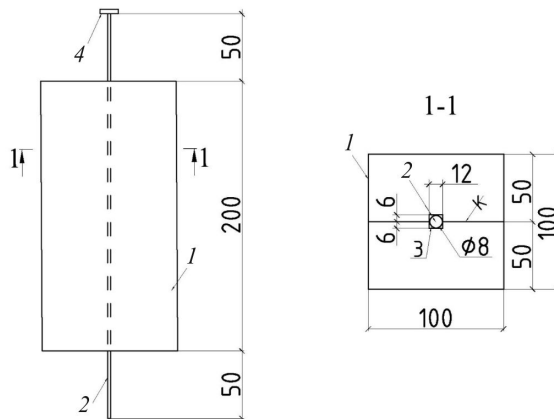


Рис. 1. Схема образца для испытания: 1 – деревянный брус; 2 – стальная стержневая арматура; 3 – клей на основе эпоксидной смолы; 4 – гайка шестигранная

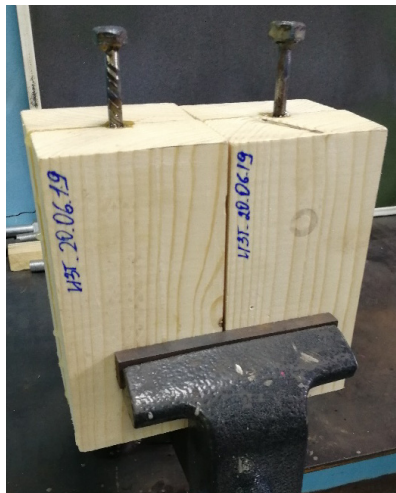


Рис. 2. Образцы, изготовленные в лабораторных условиях

Фрезерованные отверстия продувались от опилок, стальные стержни очищались металлической щеткой и обезжиривались, клей приготавливался при комнатной температуре. Арматура погружалась в отверстие с клеем и фиксировалась в проектном положении с выдержкой в течение 7 сут.

Для определения напряженно-деформированного состояния клеевого соединения армированной деревянной конструкции в лабораторных условиях образцы испытываются на выдергивание на подготовленном экспериментальном стенде⁶. Схема испытательной установки представлена на рис. 3. Нагружение создается и фиксируется силовозбудителем прибора ПОС-50МГ4 «СКОЛ» [11], передается на стержень через тягу и вилочный захват. Величина перемещения стержня производится с помощью индикатора часового типа (ИЧ)⁷ (см. рис. 3).

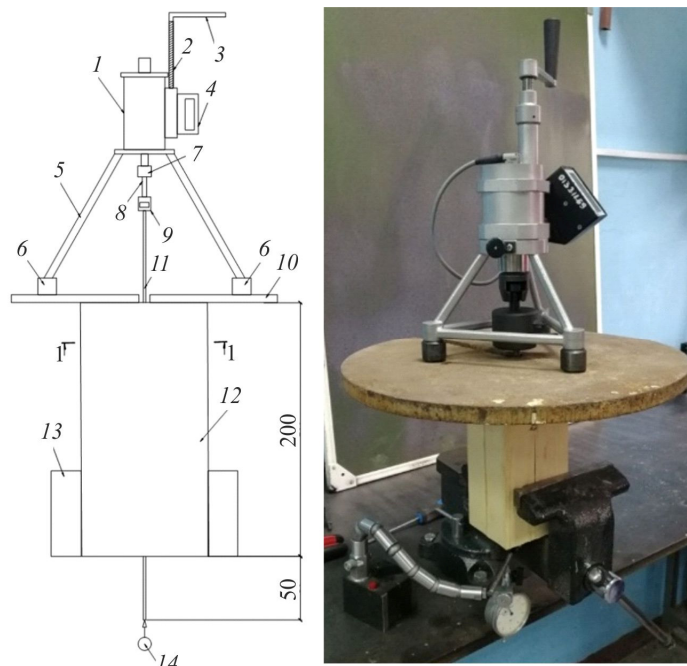


Рис. 3. Схема установки для испытания образца: 1 – силовозбудитель; 2 – винт сило-возбудителя; 3 – винт крепления рукоятки; 4 – электронный блок; 5 – силовая рама; 6 – опора силовой рамы; 7 – вилочный захват; 8 – тяга; 9 – микрометрическая гайка; 10 – пластины для упора силовой рамы; 11 – испытуемый анкер; 12 – деревянный образец; 13 – тиски для фиксирования образца; 14 – индикатор часового типа на независимом штативе

Испытания образцов на выдергивание проводятся с приложением нагрузки ступенями до полного разрушения соединения. Предельным состоянием при испытании на выдергивание может быть разрушение кле-

⁶ ГОСТ Р 58387–2019. Анкеры клеевые для крепления в бетон. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2019. 30 с.

⁷ ГОСТ 577–68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия (с Изменениями N 1–6). М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 12 с.

вого соединения по контакту с древесиной или по арматуре, приводящее к его скольжению либо выдергиванию.

В данном эксперименте величина ступени нагрузки принимается равной 0,08–0,1 кН от расчетного разрушающего усилия [12]. Расчетная несущая способность составляет 16,88 кН. Время выдерживания каждой ступени 5 мин [13]. Суть испытания заключается в измерении значений нагрузки и перемещений анкера в ходе нагружения. Показания приборов снимаются в начале и конце выдержки на каждой ступени приложения нагрузки, а также в момент разрушения.

В результате испытаний выявлено хрупкое разрушение образцов: с характерным резким звуком, мгновенным падением нагрузки и всех показателей на приборах. Разрушение произошло от выдергивания клея с арматурой по древесине, как показано на рис. 4, как для гладкой, так и для периодической арматуры.

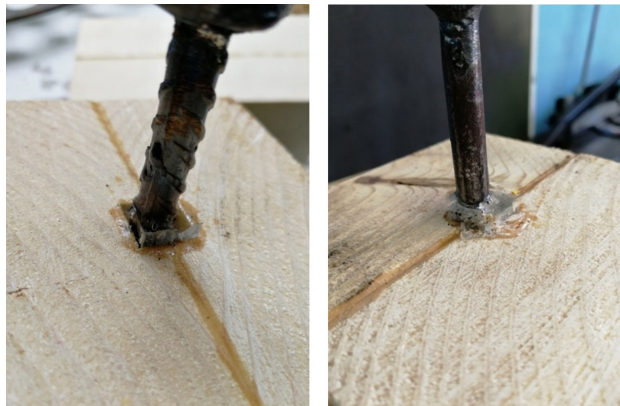


Рис. 4. Характер разрушения образца: по соединению «клей – древесина»

По результатам испытаний 5 образцов с гладкой и 5 образцов с периодической арматурой построен график зависимости «нагрузка – перемещение», изображенный на рис. 5.

На графиках имеется ярко выраженная точка перелома, характеризующая момент начала «срыва» клеевого соединения: для образцов со стержнями гладкого профиля на рис. 5 – точка A_1 , соответствующая нагрузке 4 кН, для образцов со стержнями периодического профиля на рис. 5 – точка A_2 , соответствующая нагрузке 11 кН. С увеличением нагрузок перемещения стержней растут непропорционально приложенной нагрузке. Максимальная нагрузка на графике – точка срыва арматуры, при которой зафиксированы максимальные перемещения стержня.

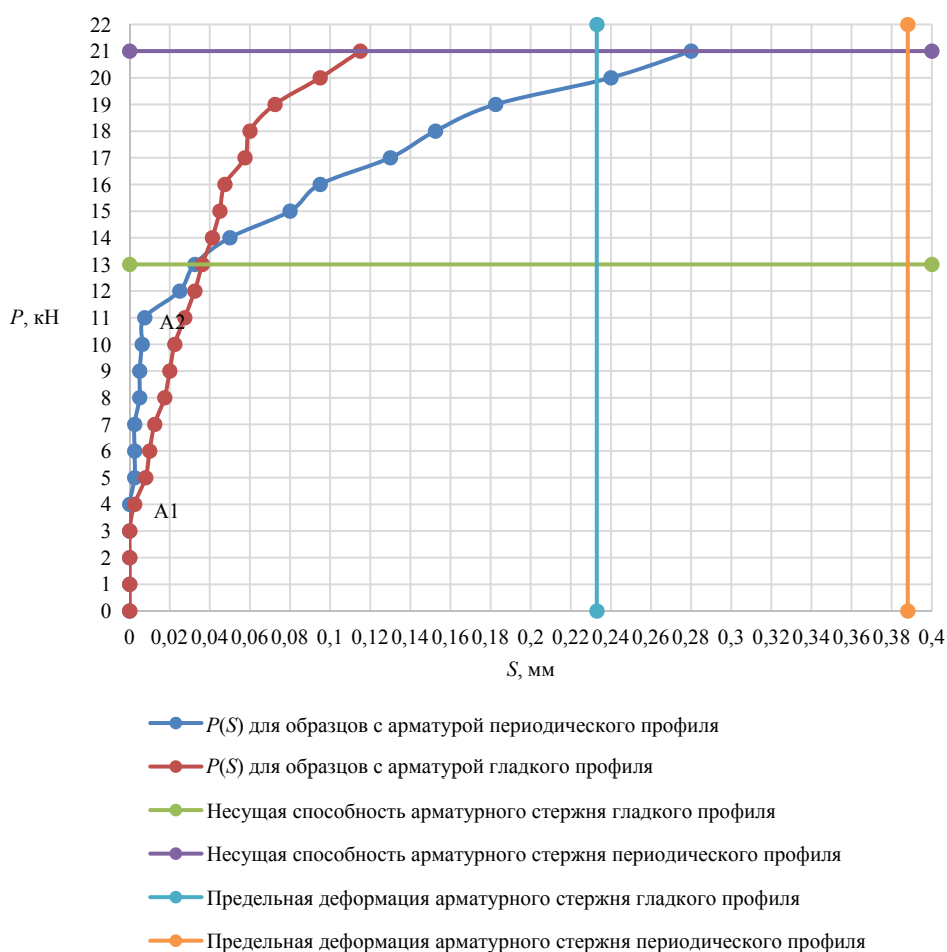


Рис. 5. График зависимости «нагрузка – перемещение»

Таким образом, по результатам экспериментального исследования для вклеенных стержней выделяется упругая работа соединения: до величины нагрузки 4 кН (точка A_1 на рис. 5) для гладкого профиля и до величины нагрузки 11 кН (точка A_2 на рис. 5) для периодического профиля. После достижения границы упругой работы в клеевом соединении возникает «срыв». В реальной работе изгибаемых элементов достижение ползучести клеевого соединения недопустимо, поэтому учитывать влияние податливости клеевого соединения на несущую способность армированных деревянных балок в дальнейшем будем в линейной части графика «нагрузка – перемещение». Характеристики жесткости и прочности клеевого соединения: коэффициент жесткости k и удельное сцепление C определены в работе [14].

Корректировка инженерного метода расчета прочности армированных деревянных балок с учетом податливости клеевого соединения. Инженерный метод расчета прочности армированных деревянных балок, работающих исключительно на изгиб, приведен в [15]. Расчет выполняется по схеме, приведенной на рис. 6, для которой составляется уравнение равновесия внутренних усилий на ось абсцисс:

$$R_s A_{st} + \sigma_{wt} \cdot \frac{h-x}{2} \cdot b - R_s A_{sc} - \sigma_{wc} \cdot \frac{x}{2} \cdot b = 0. \quad (1)$$

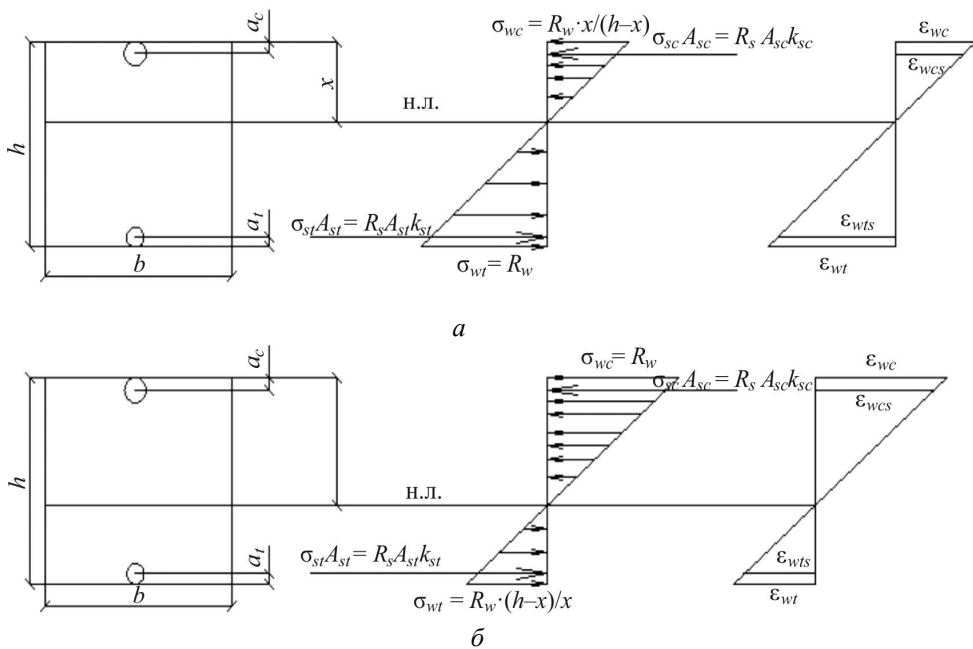


Рис. 6. Схема к расчету деревянной балки с двойным армированием: а – при достижении расчетного сопротивления в растянутых волокнах балки; б – при достижении расчетного сопротивления в сжатых волокнах балки; h – высота сечения балки, см; b – ширина сечения балки, см; x – высота сжатой зоны, см; a_t и a_c – глубина заделки арматуры растянутой и сжатой зон балки соответственно, см; σ_{st} и σ_{sc} – напряжения в растянутой и сжатой арматуре соответственно, кг/см²; σ_{wt} и σ_{wc} – напряжения в крайних растянутых и крайних сжатых волокнах древесины, кг/см²; R_s и R_w – расчетное сопротивление изгибу арматуры и древесины соответственно, кг/см²; A_{st} и A_{sc} – площадь поперечного сечения растянутой и сжатой арматуры, см²; ε_{wt} и ε_{wc} – предельная относительная деформация древесины растянутой и сжатой зоны соответственно; ε_{wts} и ε_{wcs} – относительная деформация растянутой и сжатой арматуры соответственно

Инженерный метод имеет ряд допущений, в том числе равенство деформаций арматуры и древесины в зоне контакта, т.е. изначально податливость клеевого соединения не учитывается [15].

Для учета податливости клеевого соединения в инженерном методе расчета предлагается определять коэффициент податливости клеевого соединения k_c , рассчитываемый по формуле

$$k_c = \frac{\varepsilon_{g, \exp}}{\varepsilon_s}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{g, \exp}$ – относительная деформация клеевого соединения по результатам испытаний в пределах упругой работы клеевого соединения; ε_s – предельная относительная деформация арматуры в пределах упругой работы стержня.

Податливость клеевого соединения позволяет соединяемым элементам сдвигаться друг относительно друга, что, бесспорно, снижает несущую способность конструкции вследствие снижения усилий в арматурных элементах. Поэтому вводится коэффициент снижения несущей способности элементов k_r , определяемый по формуле

$$k_r = 1 - k_c. \quad (3)$$

Таким образом, введение коэффициента k_r в инженерный метод расчета [15] позволяет определить снижение величин продольных усилий в сжатом и растянутом стержнях арматуры по следующим формулам:

$$N_{sc} = R_s \cdot A_{sc} \cdot K_{sc} \cdot K_r, \quad (4)$$

$$N_{st} = R_s \cdot A_{st} \cdot K_{st} \cdot K_r. \quad (5)$$

Тогда несущая способность (максимальный изгибающий момент) деревянной балки с двойным армированием при введении коэффициента снижения несущей способности элементов будет иметь следующий вид:

$$M = M_{sc} + M_{st} + M_{wc} + M_{wt}, \quad (6)$$

$$M = R_{sc} \cdot A_{sc} \cdot K_{sc} \cdot K_r \cdot (x - a_c) + R_{st} \cdot A_{st} \cdot K_{st} \cdot K_r \cdot (h - x - a_t) + \frac{b \cdot (\sigma_{wc} \cdot x^2 + \sigma_{wt} \cdot (h - x^2))}{3}. \quad (7)$$

На основании результатов испытаний образцов рассчитаны следующие показатели:

– при армировании балки периодическим профилем коэффициент податливости клеевого соединения составил 0,034, коэффициент снижения несущей способности составил 0,966;

– при армировании балки гладким профилем коэффициент податливости составил 0,031, коэффициент снижения несущей способности – 0,969.

Анализ результатов. В таблице представлены результаты расчета инженерным методом и результаты численного моделирования [9] для несимметрично армированной и симметрично армированной изгибаемых балок, а также приведены результаты расчета инженерным методом с учетом податливости клеевого соединения.

Результаты исследований и расчетов балок

Расчетная характеристика	Инженерный расчет	Моделирование в ПК Ansys WB	Инженерный расчет с учетом податливости клеевого соединения
Несимметрично армированная балка			
Максимальный изгибающий момент, кН·м	4,376	–	4,295
Напряжения в растянутой арматуре, МПа	200,35	191,01	193,33
Напряжения в сжатой арматуре, МПа	254,18	248,78	245,39
Симметрично армированная балка			
Максимальный изгибающий момент, кН·м	5,520	–	5,411
Напряжения в растянутой арматуре, МПа	240,80	236,53	232,54
Напряжения в сжатой арматуре, МПа	240,80	236,00	232,54

Отклонение максимального изгибающего момента по результатам инженерного расчета с учетом податливости клеевого соединения от инженерного расчета составляет для несимметрично армированных балок 1,9 %, для симметрично армированных балок – 2,0 %. Результаты сравнительных расчетов несущей способности армированных деревянных балок показывают, что учет податливости клеевого соединения снижает предельный изгибающий момент балок.

Заключение. Лабораторные исследования клеевого соединения при работе армирующих элементов на выдергивание подтверждают высокую надежность таких технических решений для армированных деревянных балок.

Введение коэффициента податливости клеевого соединения в инженерный метод расчета армированных деревянных балок позволяет более точно оценивать несущую способность изгибаемых элементов. Снижение

несущей способности, определяемой аналитически, при помощи инженерного метода расчета, для армированных деревянных балок составляет 1,9–2,0 %, что приближает результаты к данным численного моделирования в ПК Ansys WB (см. таблицу) и говорит о достоверности инженерного метода расчета в целом.

Библиографический список

1. Енютина М.К. Особенности применения армированных деревянных конструкций // Наука молодых – будущее России: сб. науч. ст. 4-й Междунар. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. – 2019. – Т. 6. – С. 142–145.
2. Исследование показателей прочности клеенных в древесину стержней из различных материалов / С.И. Рощина, М.В. Лукин, А.С. Грибанов, А.А. Кошечев // Строительная механика и расчет сооружений, 2019. – № 4(285). – С. 57–62.
3. Овсянников С.И., Шаповалов Д.Ю. Повышение прочности клеевых соединений деревянных конструкций // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 36–41.
4. Линьков И.М. Снижение материалоемкости деревянных конструкций / под ред. И.М. Линькова. – М.: Стройиздат, 1974. – 48 с.
5. Рощина С.И., Сергеев М.С., Лукина А.В. Армированные деревянные конструкции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
6. Репин В.А. Деревянные балки с рациональным армированием: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Владимир, 2000. – 191 с.
7. Рощина С.И., Сергеев М.С., Лукина А.В. Армированные деревянные конструкции // Архитектура и строительство России. – 2008. – № 3. – С. 34–39.
8. Гаппоев М.М., Гуськов И.М., Ермоленко Е.К. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 440 с.
9. Есипов А.В., Сальный И.С. Расчет нормальных сечений изгибаемых деревянных элементов с двойным симметричным и несимметричным армированием // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – Т. 1. – С. 123–126.
10. Результаты комплексных исследований армированных деревянных балок / А.В. Есипов, А.И. Бараняк, И.С. Сальный, Я.В. Воробьев // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2018. – № 2. – С. 80–86.
11. Измеритель прочности бетона ПОС–50МГ4 «СКОЛ». Руководство по эксплуатации. – М.: ООО Стройприбор, 2009. – 53 с.
12. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1980. – 40 с.
13. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1976. – 28 с.
14. Есипов А.В., Черных К.В. Экспериментальные исследования клевого соединения древесины и стальной арматуры в лабораторных условиях // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвящ. 20-летию создания кафедры электроэнергетики. – Тюмень, 2018. – Т. 1. – С. 100–103.
15. 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.

References

1. Enyutina M.K. Osobennosti primeneniya armirovanny'x derevyanny'x konstrukcij [Features of the use of reinforced wooden structures]. *Sbornik nauchnyh statej 4-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchennyh*, 2019. vol 6, pp. 142-145.
2. Roshhina S.I., Lukin M.V., Gribanov A.S., Koshheev A.A. Issledovanie pokazatelej prochnosti vkleenny'x v drevesinu sterzhnej iz razlichny'x materialov [Study of strength indicators of rods from various materials glued into wood] *Stroitel'naya mexanika i raschet sooruzhenij*, 2019, no. 4(285), pp. 57-62.
3. Ovsyannikov S.I., Shapovalov D.Yu. Povyshenie prochnosti kleevy'x soedinenij derevyanny'x konstrukcij [Increasing the strength of adhesive joints in wooden structures] *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2018. no. 4, vol 4, pp. 36-41.
4. Lin'kov I.M. Cnizhenie materialoemkosti derevyanny'x konstrukcij [Reduced material consumption of wooden structures]. Moscow, Strojizdat, 1974, 48 p.
5. Roshhina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V. Armirovanny'e derevyanny'e konstrukcii [Reinforced wooden structures] *Izvestiya vysshix uchebny'x zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 56-58.
6. Repin V.A. Derevyanny'e balki s racional'ny'm armirovaniem: Dis. kand. texn. Nauk [Wooden beams with practical reinforcement. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Vladimir, 2000, 191 p.
7. Roshhina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V. Armirovanny'e derevyanny'e konstrukcii [Reinforced wooden structures] *Arxitektura i stroitel'stvo Rossii*, 2008. no. 3, pp. 34-39.
8. Gappoev M.M., Gus'kov I.M., Ermolenko E.K. Konstrukcii iz dereva i plastmass [Wood and plastic structures] Moscow: izdatel'stvo ACB, 2004. 440 p.
9. Esipov A.V., Sal'ny'j I.S. Raschet normal'ny'x sechenij izgibaemy'x derevyanny'x elementov s dvojny'm simmetrichny'm i nesimmetrichny'm armirovaniem [Calculation of normal sections of flexible wooden elements with double symmetric and asymmetric reinforcement] *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Tyumen. 2017, vol. 1, pp. 123-126.
10. Esipov A.V., Baranyak A.I., Sal'ny'j I.S., Vorob'ev Ya.V. Rezul'taty kompleksny'x issledovanij armirovanny'x derevyanny'x balok [The results of comprehensive studies of reinforced wooden beams]. *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN*, 2018, no. 2, pp. 80-86.
11. Izmeritel' prochnosti betona POS – 50MG4 «SKOL». Rukovodstvo po e'kspluatacii [Concrete strength meter POS – 50MG4 SKOL. Manual]. Moscow, OOO Strojpribor, 2009, 53 p.
12. Rekomendacii po ispy'taniyu soedinenij derevyanny'x konstrukcij [Test recommendations for joining wooden structures]. Moscow, Strojizdat, 1980, 40 p.
13. Rekomendacii po ispy'taniyu derevyanny'x konstrukcij [Recommendations for testing wooden structures]. Moscow, Strojizdat, 1976, 28 p.
14. Esipov A.V., Cherny'x K.V. E'ksperimental'ny'e issledovaniya kleevogo soedineniya drevesiny' i stal'noj armatury' v laboratorny'x usloviyax [Experimental studies of glued joints of wood and steel reinforcement in laboratory conditions]. *Materialy Nacional'noj s mezhdunarodny'm uchastiem nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov, uchenny'x i specialistov, posvyashhennoj 20-letiyu sozdaniya kafedry' e'lektroe'nergetiki*, Tyumen, 2018, vol. 1, pp. 100-103.
15. Esipov A.V. I.S. Sal'ny'j, Ya.V. Vorob'ev Raschet prochnosti normal'ny'x sechenij armirovanny'x derevyanny'x balok [Calculation of strength of normal sections of reinforced wooden beams] *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*, 2017, no. 49 (68), pp. 5-15.

Получено 21.10.2020

A. Esipov, S. Erenchinov, K. Chernykh

TAKING INTO ACCOUNT THE COMPLIANCE OF GLUED JOINT OF ARMATURE AND WOOD IN REINFORCED WOODEN BEAMS

This article provides a methodology for the manufacture and laboratory testing of wooden samples reinforced with steel rod of streamlined profile and deformed section. The aim of the study was to assess the deformability of the glued joint and to correct the engineering method for calculating the strength of reinforced wooden beams taking into account the compliance of glued joint. The relevance of this topic is due to the neglect of the compliance of the glued joint of materials (wood and steel rods) when calculating reinforced wooden beams. As a result of conducted laboratory studies, experimental load-deformation dependences were obtained in glued joint wooden samples with steel reinforcing rod of a streamlined profile and deformed section. The engineering method for calculating reinforced wooden beams was corrected by introducing compliance coefficient of the glued joint, obtained on the basis of experimental data. A comparative analysis of the results of the engineering method of calculation was carried out taking into account the compliance of the glued joint for symmetrically and asymmetrically reinforced wooden beams with the results of numerical simulation in the Ansys software complex. Experimental studies have confirmed a decrease in the bearing capacity of reinforced wooden beams due to the compliance of the glued joint and, as a result, have made it possible to more accurately assess the bearing capacity of structures using the engineering method for calculating.

Keywords: reinforced wooden beam, glued joint, compliance, armature, wood, calculation, experiment, elastic stage.

Есипов Андрей Владимирович (Тюмень, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, e-mail: sibstroy.2012@yandex.ru).

Еренчинов Сергей Александрович (Тюмень, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, e-mail: erenchinovsa@tyuiu.ru).

Черных Кристина Владимировна (Тюмень, Россия) – ассистент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, e-mail: chernykh_kv@bk.ru).

Andrei Esipov (Tyumen, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building Constructions, Industrial University of Tyumen (625000, Tyumen, Volodarskiy st., 38, e-mail: sibstroy.2012@yandex.ru).

Sergey Erenchinov (Tyumen, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building Constructions Department, Industrial University of Tyumen (625000, Tyumen, Volodarskiy st., 38, e-mail: erenchinovsa@tyuiu.ru).

Kristina Chernykh (Tyumen, Russian Federation) – Assistant Lecturer, Department of Building Constructions, Industrial University of Tyumen (625000, Tyumen, Volodarskiy st., 38, e-mail: chernykh_kv@bk.ru).