



УДК 624.011.17

ЕСИПОВ А. В.
БАРАНЯК А. И.
САЛЬНЫЙ И. С.
ВОРОБЬЕВ Я. В.

**Есипов
Андрей
Владимирович**

кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Строительные конструк-
ции» ФГБОУ ВО
«Тюменский
государственный
университет»

e-mail:
sibstroy.2012@yandex.ru



**Бараняк
Андрей
Игоревич**

ассистент кафедры
«Строительные конструк-
ции» ФГБОУ ВО
«Тюменский
индустриальный
университет»

e-mail:
sibstroy.2012@yandex.ru



**Воробьев
Ярослав
Витальевич**

магистрант,
ФГБОУ ВО
«Тюменский
индустриальный
университет»

e-mail:
vorobey1627@yandex.ru



**Сальный
Иван
Сергеевич**

магистрант,
ФГБОУ ВО
«Тюменский
индустриальный
университет»

e-mail:
salnyy2493@mail.ru

Результаты комплексных исследований деревянных армированных балок

В статье приведены данные комплексных экспериментальных исследований армированных деревянных балок с различными схемами расположения продольной стержневой арматуры в поперечных сечениях. По результатам данных экспериментов построены графики «нагрузка — прогиб», произведен подробный сравнительный анализ экспериментальной и расчетной прочности и жесткости неармированных балок и балок с различными схемами армирования продольной стержневой арматурой, а также получены границы упругой и упругопластической работы исследуемых балок.

Ключевые слова: эксперимент, балка, армирование, прочность, жесткость, упругая стадия.

ESIPOV A. V., BARANYAK A. I., SAL'NYI I. S., VOROB'EV Ya. V.

THE RESULTS OF COMPREHENSIVE STUDIES OF WOODEN REINFORCEMENT BEAMS

The article presents data of complex experimental researches of reinforced wooden beams with different schemes of arrangement of longitudinal rod reinforcement in cross-sections. Based on the results of these experiments, load-deflection graphs were constructed, and a detailed comparative analysis of the experimental and calculated strength and stiffness of non-reinforced beams and beams with various schemes of longitudinal rod reinforcement was made.

Keywords: experiment, beam, reinforcement, strength, stiffness, elastic stage.

Введение

Армирование деревянных балок, помимо значительного повышения прочности и жесткости, позволяет уменьшить влияние на работу конструкции присущих древесине пороков, неоднородности строения, а также дает возможность добиться снижения материалоемкости при необходимых параметрах прочности и жесткости [1–3]. В статье рассмотрены варианты усиления деревянных балок стержневой стальной арматурой, расположенной горизонтально по всей длине растянутой и сжатой зон балок на основании лабораторных исследований.

Материалы, приборы и оборудование

Для проведения экспериментальных исследований подготовлены пять контрольных типов образцов из древесины сосны I сорта. Модуль упругости древесины вдоль волокон составляет $E_{w1}=10$ ГПа, поперек волокон $E_{w2}=0,4$ ГПа [4]. Расчетное сопротивление деревянной конструкции изгибу с принятыми размерами составляет $R_w=14$ МПа [4]. Геометрические размеры всех образцов составляют $100 \times 100 \times 2400$ мм. В качестве армирующих элементов применялись стальные стержни периодического профиля класса А400 диаметрами 10 и 14 мм.

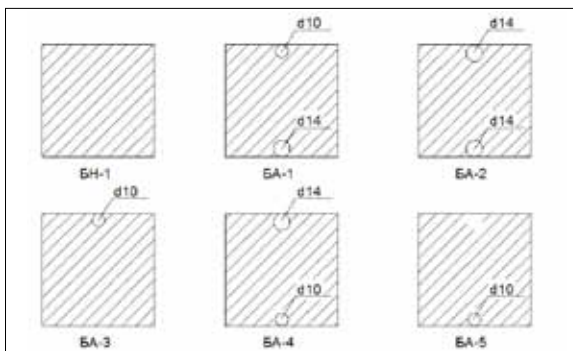


Иллюстрация 1. Поперечные сечения опытных образцов древесины

Модуль упругости стальных арматурных стержней класса А400 равен $E_s = 200$ ГПа [5]. Расчетное сопротивление арматурных стержней сжатию и растяжению составляет 350 МПа [5].

Поперечные сечения образцов представлены на Иллюстрации 1. Для сравнительной оценки эффективности различных схем усиления деревянных балок стальной арматурой в работе дополнительно представлены результаты испытания балок БА-5 с расположением продольной стержневой арматуры в растянутой зоне, приведенные в работе [6].

Арматурные стержни вклеивались в специально подготовленные в балке пазы при помощи универсального эпоксидного клея марки ЭДП. После чего производилась укладка и запрессовка арматурных стержней. Процесс склеивания производился при температуре $+18...+20$ °С в течение 10–12 часов согласно [4].

Балки для проведения лабораторных исследований устанавливались на подготовленный экспериментальный стенд. Нагружение производилось с помощью механического домкрата и передавалось на конструкцию через металлическую траверсу, имеющую две опоры в третях пролета балки. Значение передаваемой через домкрат нагрузки измерялось динамометром ДИН-1 с последующей фиксацией системой «ТЕРЕМ-4.1».

Общий вид исследуемой балки, установленной на экспериментальном стенде, со всем оборудованием представлен на Иллюстрации 2.

Для регистрации значений напряжений по высоте поперечного сечения балок в середине пролета использовались константовые проволочные тензорезисторы на бумажной основе с длиной базы 20 мм, наклеенные на поверхность исследуемых балок при помощи клея марки БФ-2. Тензорезисторы, в свою очередь, подключались к адаптерам, которые передавали показания на универсальный многоканальный измеритель-регистратор «ТЕРЕМ-4.1».

Вертикальные перемещения балок в середине пролета и на опорах фиксировались с помощью прогибомеров марки ДПЛ-100 и ДПЛ-50.

Методика проведения экспериментальных испытаний

Испытание опытных образцов балок осуществлялось согласно схеме, представленной на Иллюстрации 3.

Для определения нагрузок, действующих на балки, были произведены расчеты на прочность изгибаемых элементов в упругой стадии по разработанному авторами методу [7, 8]. Расчетная нагрузка на домкрате, соответствующая несущей способности, для неармированной балки БН-1 составила 600 кг, для армированной балки БА-1 — 1100 кг, БА-2 — 1400 кг, БА-3 — 700 кг и БА-4 — 1100 кг.



Иллюстрация 2. Общий вид конструкции на экспериментальном стенде. Фото авторов: А. В. Есипов, А. И. Бараняк, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев

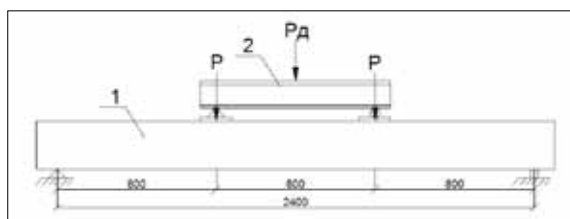


Иллюстрация 3. Схема нагружения образцов при статическом испытании: 1 — испытуемая балка; 2 — распределительная траверса; P_d — нагрузка, передаваемая через домкрат; P — нагрузка в точках опирания траверсы

Нагружение производилось ступенями. Величина ступени составляла 25% от расчетного значения расчетной теоретической несущей способности балок. Каждая ступень выдерживалась 15 мин согласно [9].

Обработка и анализ результатов испытаний

Абсолютные значения экспериментальных прогибов опытных образцов представлены в Таблице 1. Четвертая ступень нагружения (СН №4) соответствует теоретической несущей способности балки.

На Иллюстрации 4 представлены графики «нагрузка — прогиб» для балок БН-1, БА-1, БА-2, БА-3 и БА-4.

Результаты испытания неармированной балки на Иллюстрации 4 изображает кривая «график $f(N)$ БН-1». Согласно данному графику, балка работает упруго до нагрузки 1211 кг, которой соответствует прогиб 51,72 мм. Разрушение неармированной балки БН-1 наступает при значении сосредоточенной силы 1354 кг (P_d) и максимальном прогибе в середине пролета 61,71 мм. Разрушение произошло от разрыва растянутых волокон в зоне чистого изгиба балки (Иллюстрация 5).

Фактическая прочность балки БН-1 значительно превысила теоретическое значение (55,7%). Теоретическая прочность неармированной балки, определенная по II группе предельных состояний (предельный прогиб согласно [11] равен 16 мм), составляет 410 кг, что меньше прочности, определенной по I группе предельных состояний, на 31,7%.

Результаты испытания несимметрично армированной балки БА-1 на Иллюстрации 4 отображает кривая «график $f(N)$ БА-1». Балка работает упруго до нагрузки 2595 кг, которой соответствует прогиб 42,66 мм. Далее по графику видно, что началась упругопластическая стадия работы армированной балки. Данная стадия работы балки сопровождалась смятием сжатых волокон древесины, после чего балка разрушилась от разрыва растянутых волокон древесины в зоне чистого изгиба армированной балки (Иллюстрация 6). Разрушение балки

Таблица 1. Экспериментальные прогибы исследуемых балок

Степень нагрузки	Нагрузка, передаваемая через домкрат, кг (изгибающий момент, кг · см)				
	Прогиб, мм				
	БН-1	БА-1	БА-2	БА-3	БА-4
1	2	3	4	5	6
СН № 1	154 (6200)	295 (11800)	391 (15600)	210 (8400)	260 (10400)
	5,95	4,25	5,73	3,80	2,00
СН № 2	301 (12000)	581 (23200)	789 (31600)	390 (15600)	510 (20400)
	11,48	8,79	11,14	9,00	5,30
СН № 3	454 (18200)	879 (35200)	1202 (48100)	570 (22800)	760 (30400)
	17,54	13,28	16,84	14,10	9,90
СН № 4	605 (24200)	1172 (46900)	1420 (55200)	760 (29100)	1260 (50400)
	23,54	17,82	20,04	19,50	19,00
СН № 5	752 (30100)	1375 (55000)	1755 (70200)	940 (37600)	1260 (50400)
	29,55	21,37	24,25	24,70	19,00
СН № 6	902 (36100)	1654 (66200)	2274 (91000)	1120 (44800)	1500 (60000)
	35,94	25,15	31,65	29,70	23,30
СН № 7	1055 (42200)	1930 (77200)	2665 (106600)	1300 (52000)	1750 (70000)
	43,09	29,94	38,67	35,20	28,00
СН № 8	1211 (48400)	2233 (89300)	3013 (120500)	1490 (59600)	2010 (80500)
	51,72	35,24	49,90	41,10	33,20
СН № 9	1354 (54200)	2595 (103800)	—	1680 (67200)	2260 (90500)
	61,71	42,66	—	47,30	38,40
СН № 10	—	2772 (110900)	—	—	2500 (100100)
	—	48,56	—	—	43,90
СН № 11	—	3000 (120000)	—	—	2750 (110100)
	—	58,85	—	—	51,50
СН № 12	—	—	—	—	2950 (118000)
	—	—	—	—	59,60

происходит при значении сосредоточенной силы 3000 кг (P_d) и прогибе 58,85 мм.

Теоретической границе упругости балки БА-1 соответствует сосредоточенная нагрузка 1100 кг и максимальный прогиб 18,20 мм. Разница в нагрузках, соответствующих теоретической (СН № 4) и экспериментальной границам упругости, составляет 57,6%.

Балка БА-1 является более жесткой, чем неармированная балка БН-1, так как кривая «график $f(N)$

БА-1» лежит значительно выше кривой «график $f(N)$ БН-1» (Иллюстрация 4): в точках пересечения графиков деформаций балок с горизонтальными прямыми своих теоретических несущих способностей, определенных по I группе предельных состояний [10], жесткость балки БА-1 больше жесткости балки БН-1 на 22,7%, а прочность балки БА-1 больше прочности неармированной балки БН-1 на 45,5%. Разница в прочностях по II группе предельных состояний составляет 61,0%.

Результаты испытания симметрично армированной балки БА-2 на Иллюстрации 4 отображает кривая «график $f(N)$ БА-2». По графику видно, что балка работает упруго до нагрузки 2665 кг, которой соответствует прогиб 38,67 мм. После чего балка переходит в стадию упругопластической работы.

Разрушение балки БА-2 произошло от разрыва растянутых волокон древесины при значении сосредоточенной силы 3013 кг (P_d) и прогибе 49,9 мм (Иллюстрация 7).

Теоретической границе упругой работы армированной балки БА-2 соответствует сосредоточенная нагрузка 1400 кг и максимальный прогиб 20,46 мм. Разница в нагрузках, соответствующих теоретической (СН № 4) и экспериментальной границам упругости для балки БА-2, составляет 47,5%.

Кроме того, балка БА-2 работает при меньших деформациях, чем балка БН-1: в точках пересечения графиков деформаций балок с горизонтальными прямыми своих теоретических прочностей жесткость балки БА-2 больше жесткости балки БН-1 на 13,1%, а прочность балки БА-2 больше прочности балки БН-1 на 57,1%. Разница между прочностями по II группе предельных состояний — 64,3%.

Результаты испытания армированной балки БА-3 на Иллюстрации 4 отображает кривая «график $f(N)$ БА-3». По графику видно, что балка работает упруго вплоть до разрушения. В данной точке действует сосредоточенная сила 1680 кг, которой соответствует прогиб 47,3 мм. Разрушение балки БА-3 произошло от разрыва растянутых волокон древесины в зоне чистого изгиба (Иллюстрация 8).

Теоретической границе упругой работы балки БА-3 соответствует сосредоточенная нагрузка 700 кг и максимальный прогиб 17,14 мм. Разница в нагрузках, соответствующих теоретической (СН № 4) и экспериментальной границам упругости для балки БА-3, составляет 58,3%.

Балка БА-3 работает при меньших деформациях, чем неармированная балка БН-1: жесткость балки БА-3 больше жесткости балки БН-1 на 27,2%, а прочность балки БА-2 больше прочности балки БН-1 на 14,3%. Разница между прочностями по II группе предельных состояний — 21,2%.

Результаты испытания несимметрично армированной балки БА-4 отображает кривая «график $f(N)$ БА-4». По графику видно, что бал-

ка работает упруго до нагрузки 2 500 кг, которой соответствует прогиб 43,9 мм. После чего по графику видно, что балка переходит в стадию упругопластической работы.

Разрушение балки БА-4 произошло от разрыва растянутых волокон древесины при значении сосредоточенной силы 2 950 кг (P_d). Максимальный прогиб в этот момент составил 59,6 мм (Иллюстрация 9).

Теоретической границе упругости армированной балки БА-4 соответствует сосредоточенная нагрузка 1 100 кг и максимальный прогиб 18,2 мм. Разница в нагрузках, соответствующих теоретической (СН № 4) и экспериментальной границам упругости, составляет 56,0%.

Балка БА-4 работает при меньших деформациях, чем неармированная балка БН-1: жесткость балки БА-4 больше жесткости балки БН-1 на 22,7%, а прочность балки БА-4 больше прочности балки БН-1 на 45,5%. Разница между прочностями по II группе предельных состояний — 63,1%.

Сравнивая прочность и жесткость армированных балок БА-1 и БА-2 между собой, можно сделать вывод, что балка БА-2 является чуть более жесткой, чем балка БА-1: в точках пересечения графиков деформаций

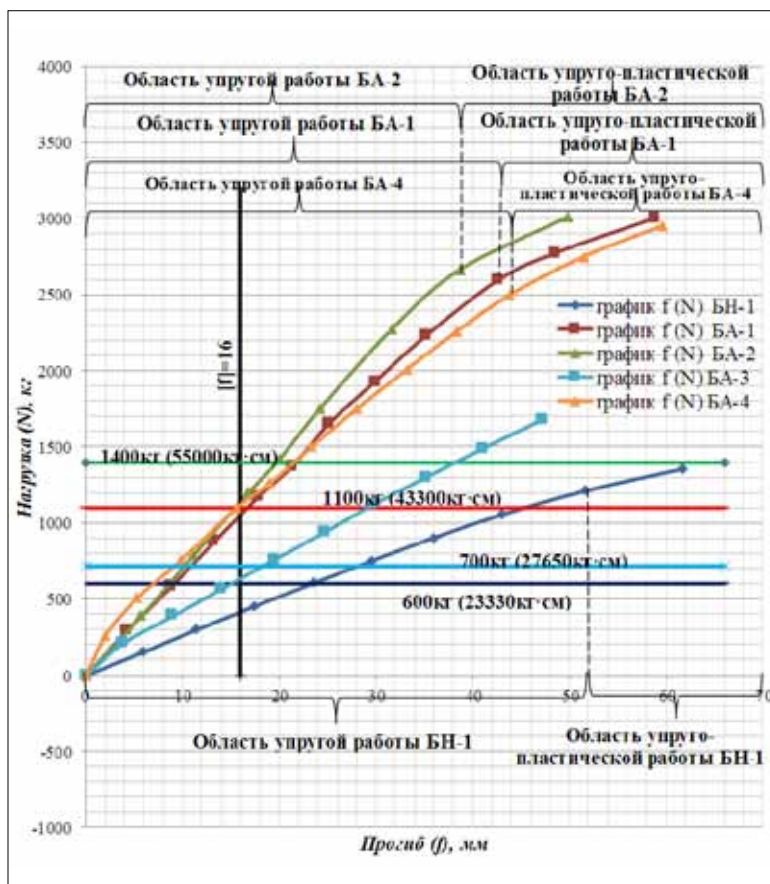


Иллюстрация 4. Графики работы экспериментальных балок



Иллюстрация 5. Разрушение балки БН-1 в ходе проводимого эксперимента. Фото авторов: А. В. Есипов, А. И. Бараняк, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев



Иллюстрация 6. Разрушение балки БА-1 в ходе эксперимента. Фото авторов: А. В. Есипов, А. И. Бараняк, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев



Иллюстрация 7. Разрушение балки БА-2 в ходе эксперимента. Фото авторов: А. В. Есипов, А. И. Бараняк, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев



Иллюстрация 8. Разрушение балки БА-3 в ходе эксперимента. Фото авторов: А. В. Есипов, А. И. Бараняк, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев



Иллюстрация 9. Разрушение балки БА-4 в ходе эксперимента. Фото авторов: А. В. Есипов, А. И. Бараняк, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев

балок с горизонтальными прямыми своих теоретических прочностей жесткость балки БА-2 больше жесткости балки БА-1 на 11,0%, а прочность балки БА-2 больше прочности балки БА-1 на 21,4%. При этом разница между прочностями балок по II группе предельных состояний составляет 8,7%.

Балка БА-1 является более жесткой и прочной, чем балка БА-3: жесткость балки БА-1 больше жесткости балки БА-3 на 4,4%, а прочность балки БА-1 больше прочности балки БА-3 на 36,4%. Разница между прочностями балок БА-1 и БА-3, определенными по II группе предельных состояний, составляет 21,2%.

Что касается сравнения несимметрично армированных балок БА-1 и БА-4, то балка БА-4 является чуть менее

прочной, чем балка БА-1. Разница между прочностями балок БА-4 и БА-1, определенными по II группе предельных состояний, составляет 3,7%.

Балка БА-2 является более жесткой и прочной, чем балка БА-3: жесткость балки БА-2 больше жесткости балки БА-3 на 16,2%, а прочность балки БА-2 больше прочности балки БА-3 на 50%. Разница между прочностями балок по II группе предельных состояний составляет 54,8%.

Балка БА-2 является более жесткой и прочной, чем балка БА-4: жесткость балки БА-2 больше жесткости балки БА-4 на 11,0%, а прочность балки БА-2 больше прочности балки БА-4 на 21,4%. Разница между прочностями балок по II группе предельных состояний составляет 4,3%.

Балка БА-4 является более жесткой и прочной, чем балка БА-3: в точках пересечения графиков деформаций балок с горизонтальными прямыми своих теоретических прочностей жесткость балки БА-4 больше жесткости балки БА-3 на 5,8%, а прочность балки БА-5 больше прочности балки БА-3 на 36,7%. Разница между прочностями балок БА-1 и БА-3, определенными по II группе предельных состояний, составляет 53,2%.

В Таблице 2 представлены значения прочности и жесткости для опытных образцов.

В Таблице 3 представлены значения прироста несущей способности (числитель) и жесткости (знаменатель) исследуемых балок по отношению к неармированной балке БН-1.

Таблица 2. Прочность и жесткость исследуемых балок

Образец	По I ГПС*		По II ГПС		На фактической границе упругости		При разрушении	
	Нагрузка, кг (изгиб. момент, кг·см)	Прогиб, мм	Нагрузка, кг (изгиб. момент, кг·см)	Прогиб, мм	Нагрузка, кг (изгиб. момент, кг·см)	Прогиб, мм	Нагрузка, кг (изгиб. момент, кг·см)	Прогиб, мм
БН-1	600 (23330)	23,54	410 (16400)	16	1211 (48400)	51,72	1354 (54200)	61,71
БА-1	1100 (43300)	18,20	1050 (42000)	16	2595 (103800)	42,66	3000 (120000)	58,85
БА-2	1400 (55200)	20,46	1150 (46000)	16	2665 (106600)	38,67	3013 (120520)	49,90
БА-3	700 (27650)	17,14	520 (2080)	16	1680 (67200)	47,30	1680 (67200)	47,30
БА-4	1100 (43300)	18,20	1110 (44400)	16	2500 (100100)	43,90	2950 (118000)	59,60

* Группа предельных состояний.

Таблица 3. Прирост несущей способности и жесткости исследуемых балок по отношению к неармированной балке

Образец	Прирост несущей способности	
	Прирост жесткости	
	На границе упругости	При разрушении
БА-1	45,5%	54,9%
	22,7%	4,6%
БА-2	57,1%	55,1%
	13,1%	19,1%
БА-3	14,3%	19,4%
	27,2%	23,4%
БА-4	45,5%	54,1%
	22,7%	3,4%
БА-5*	13,7%	13,7%
	9,3%	11,4%

*Балка БА-5 — деревянная балка с армированием стальной арматурой диаметром 10 мм класса А400 по всей длине растянутой зоны балки. Значения прироста несущей способности и жесткости приведенной балки по сравнению с аналогичной неармированной балкой приведены в работе [6].

Оценка длительной прочности балок

Для оценки несущей способности деревянных конструкций с учетом длительной работы по результатам их испытаний в соответствии с [9] вычисляется приведенное время t , мин, соответствующее действию неизменной нагрузки:

$t = 0,02t_1 + t_2,$ (1)

где t_1 – время доведения нагрузки до разрушающей M_{exp} , мин;

t_2 – время, в течение которого конструкция выдерживала разрушающую нагрузку, мин.

Требуемый коэффициент безопасности $K_{\text{тр}}$ зависит от приведенного времени и вида разрушения конструкции при испытании.

Разрушение растянутых волокон древесины в изгибаемых элементах от разрыва поперек волокон носит хрупкий характер, тогда требуемый коэффициент безопасности $K_{\text{тр}}$ согласно [9] вычисляется по формуле

$K_{\text{тр}} = 1,48(1,88 - 0,106 \lg(t)).$ (2)

Фактический коэффициент безопасности $K_{\text{ф}}$ вычисляется по формуле

$K_{\text{ф}} = \frac{M_{\text{exp}}}{M_u},$ (3)

где M_u – теоретическая (расчетная) несущая способность балки, кг·см.

Адекватная несущая способность испытанных балок оценивается неравенством

$K_{\text{ф}} \geq K_{\text{тр}}.$ (4)

Таким образом, с учетом требуемого коэффициента безопасности экспериментальная несущая способность M , кг·см, определяется по формуле

$M = \frac{M_{\text{exp}}}{K_{\text{тр}}}.$ (5)

В Таблице 4 приведены данные расчета экспериментальной несущей способности балок по результатам статических испытаний.

При анализе данных Таблицы 4 видно, что допускаемая нагрузка на испытываемые балки, отражающая длительный характер работы деревянных конструкций, определенная с учетом требуемого коэффициента безопасности, превосходит значение расчетной несущей способности опытных балок, определенное по разработанному авторами методу [7, 8]. Это позволяет сделать вывод, что ранее разработанный метод расчета армированных деревянных балок дает некоторый запас по несущей способности исследуемых конструкций (максимальное значение 3,7%) по отношению к экспериментальным данным.

Таблица 4. Экспериментальная и расчетная несущая способность балок

Образец	Образец БН-1	Образец БА-1	Образец БА-2	Образец БА-3	Образец БА-4
M_u , расчетная несущая способность, кг·см	23300	43300	55200	27650	43300
M_{exp} , экспериментальная несущая способность, кг·см	54200	120000	120500	67200	118000
t_1 , время доведения нагрузки до разрушающей, мин	165	150	220	170	210
t_2 , время действия разрушающей нагрузки, мин	10	5	15	7	5
t , приведенное время, соответствующее действию неизменной нагрузки, мин	13,30	8,00	19,40	8,60	9,20
$K_{\text{тр}}$, требуемый коэффициент безопасности	2,28	2,64	2,13	2,41	2,63
$K_{\text{ф}}$, фактический коэффициент безопасности	2,32	2,77	2,19	2,43	2,72
M , допускаемая нагрузка на балку с учетом требуемого коэффициента безопасности, кг·см	23754	45455 (47,7%)	56573 (58,0%)	27888 (14,8%)	44867 (47,1%)
$\frac{M - M_u}{M_u} \cdot 100$, разница в несущих способностях балок, %	1,9	3,7	2,4	0,9	3,6

Заключение

Результаты, полученные в ходе испытания армированных деревянных балок кратковременной статической нагрузкой, подтверждают высокую эффективность усиления деревянных балок стальной стержневой продольной арматурой А400 и позволяют сделать следующие выводы:

1 Несущая способность усиленных стальной стержневой арматурой деревянных балок с учетом требуемого коэффициента безопасности и длительности нагружения значительно выше, чем у неармированной балки БН-1: для балки БА-1 — на 47,7%, для балки БА-2 — на 58,0%, для балки БА-3 — на 14,8%, для балки БА-4 — на 47,1%, для балки БА-5 — на 13,4% [6]. Усиление деревянных балок вклеиванием арматуры только в сжатой или растянутой зонах дает незначительный прирост прочности (14,8 и 13,4%).

2 Жесткость при разрушении несимметрично армированной балки БА-1 больше, чем у балки БН-1 на 4,6%; жесткость симметрично армированной балки БА-2 больше на 19,1%; жесткость балки БА-3 больше на 23,4%; жесткость балки БА-4 больше на 3,4%; жесткость армированной балки БА-5 больше жесткости неармированной балки на 11,4%.

3 Сравнивая жесткость и прочность деревянных балок с различными схемами расположения стальной стержневой арматуры, можно сделать вывод, что эффективной схемой армирования является двойное армирование — с расположением арматурных стержней как в растянутой, так и в сжатой зонах балок. Использование схемы армирования с одиночным расположением арматуры в сжатой либо в растянутой зонах деревянных балок является низкоэффективным.

Список использованной литературы

- 1 Репин В. А. Деревянные балки с рациональным армированием: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. — Владимир, 2000. — 191 с.
- 2 Robert J. Steel-Reinforced Wood Beet Design / J. Robert, Jr. Hoyle // Forest Products Journal. — Vol. 25. — April 1975. — № 4. — P. 34–42.
- 3 Zahn L. L. Design of wood members under combined load / L. L. Zahn // J. of Structural Engineering. — 1986. — Vol. 112. — № 9. — P. 2109–2126.
- 4 СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. — М.: Мин-во регион. развития Российской Федерации, 2011. — 92 с.
- 5 СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. — М.: Мин-во регион. развития Российской Федерации, 2011. — 173 с.
- 6 Есипов А. В. Экспериментальные исследования усиления цельнодеревянных балок стержневой арматурой в растянутой зоне / А. В. Есипов, Я. В. Лыкова, С. А. Еренчинов // Академический вестник УралНИИ-Проект РААСН. — 2017. — № 1. — С. 83–89.
- 7 Есипов А. В. Расчет прочности нормальных сечений армированных деревянных балок / А. В. Есипов, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев // Вестн. Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. — 2017. — № 49 (68). — С. 5–15.
- 8 Есипов А. В. Расчет нормальных сечений изгибаемых деревянных элементов с двойным симметричным и несимметричным армированием / А. В. Есипов, И. С. Сальный // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Нефть и газ Западной Сибири». — 2017. — С. 123–126.
- 9 Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. — М.: Стройиздат, 1976. — 28 с.

10 Гаппоев М. М. Конструкции из дерева и пластмасс: учебник / М. М. Гаппоев, И. М. Гуськов, Е. К. Ермоленко и др. — М.: Изд-во АСВ, 2004. — 440 с.

11 СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. — М.: Мин-во регион. развития Российской Федерации, 2016. — 86 с.

Spisok ispol'zovannoj literatury

- 1 Repin V. A. Derevyannye balki s racional'nym armirovaniem: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. — Vladimir, 2000. — 191 s.
- 2 Robert J. Steel-Reinforced Wood Veet Design / J. Robert, Jr. Hoyle // Forest Products Journal. — Vol. 25. — April 1975. — № 4. — P. 34–42.
- 3 Zahn L. L. Design of wood members under combined load / L. L. Zahn // J. of Structural Engineering. — 1986. — Vol. 112. — № 9. — P. 2109–2126.
- 4 SP 64.13330.2011. Derevyannye konstrukcii. — M.: Min-vo region. razvitiya Rossijskoj Federacii, 2011. — 92 s.
- 5 SP 16.13330.2011 Stal'nye konstrukcii. — M.: Min-vo region. razvitiya Rossijskoj Federacii, 2011. — 173 s.
- 6 Esipov A. V. Ehksperimental'nye issledovaniya usileniya cel'noderevyannyh balok sterzhnevoj armaturoj v rastyanutoj zone / A. V. Esipov, Ya. V. Lykova, S. A. Erenchinov // Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN. — 2017. — № 1. — S. 83–89.
- 7 Esipov A. V. Raschet prochnosti normal'nyh sechenij armirovannyh derevyannyh balok / A. V. Esipov, I. S. Sal'nyj, Ya. V. Vorob'ev // Vestn. Volgograd. gos. arh.-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. — 2017. — № 49 (68). — S. 5–15.
- 8 Esipov A. V. Raschet normal'nyh sechenij izgibaemyh derevyannyh ehlementov s dvojnym simmetrichnym i nesimmetrichnym armirovaniem / A. V. Esipov, I. S. Sal'nyj // Materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Neft' i gaz Zapadnoj Sibiri». — 2017. — S. 123–126.
- 9 Rekomendacii po ispytaniyu derevyannyh konstrukcij / CNIISK im. V. A. Kucherenko. — M.: Strojizdat, 1976. — 28 s.
- 10 Gappoev M. M. Konstrukcii iz dereva i plastmass: uchebnyk / M. M. Gappoev, I. M. Gus'kov, E. K. Ermolenko i dr. — M.: Izd-vo ASV, 2004. — 440 s.
- 11 SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdejstviya. — M.: Min-vo region. razvitiya Rossijskoj Federacii, 2016. — 86 s.