

УДК 624.011.01

## РАБОТА АРМИРОВАННЫХ КЛЕЕНЫХ БАЛОК С РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ АРМИРОВАНИЯ И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЕМ

канд. техн. наук, доц. А.Р. ВОЛИК, И.И. ЦВЕТИНСКИЙ  
(Полоцкий государственный университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований клеодошчатых балок, усиленных стекло-материалами, с различным расположением армированных клеевых швов. Выполнен анализ эффективности расположения клеевых швов и выбора материала армирования.

Среди изделий и конструкций, в наибольшей степени отвечающих требованиям облегчения сооружений и ускорения строительства, видное место занимают клееные деревянные конструкции. В технологическом отношении они ценны тем, что позволяют экономно расходовать древесину, утилизировать маломерные низкосортные пиломатериалы и отходы производства.

В настоящий момент наиболее распространенными способами повышения прочности изгибаемых клееных конструкций являются:

- применение слоев из древесины разных пород и сортов (рис. 1). За счет применения в наиболее напряженных (в крайних растянутых и сжатых) зонах балок древесины повышенной прочности достигнуто снижение материалоемкости клееных балок в среднем около 15 % по сравнению с аналогичными балками из сосны или ели [1, 2];

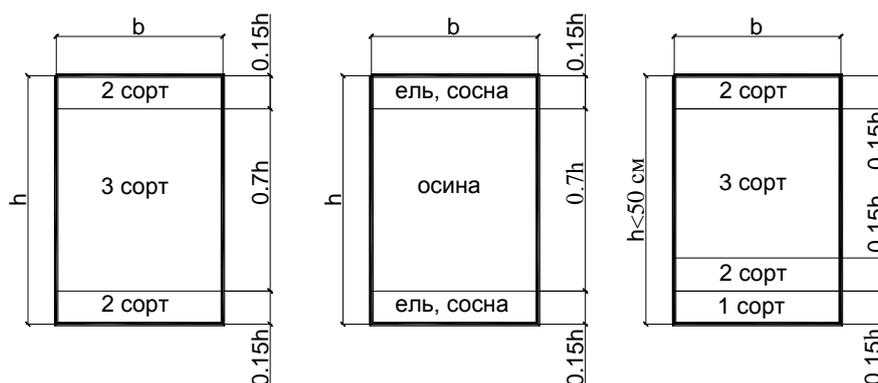


Рис. 1. Варианты компоновки поперечного сечения балок

- вертикальное расположение слоев. Результаты испытаний показали [3], что вертикально-слоистые клееные конструкции в среднем на 38 % прочнее традиционно клееных;

- применение армирования. Исследования в области армирования клееных деревянных конструкций (балок, рам, арок) ведутся в России: в Москве (ЦНИИСК им. Кучеренко), Владимире, Иркутске и Новосибирске; за рубежом – в Финляндии, Швеции, Германии, США. В качестве арматуры в основном используется стальная арматура периодического профиля класса S400 диаметром 16...28 мм [4, 5]. Кроме того, армированные балки получают при армировании сечения стальной проволокой, сеткой или стеклопластиковой арматурой. Такие балки имеют сравнительно небольшую высоту сечения (1/25...1/30 пролета), меньшую массу и требуют меньшего расхода древесины [6]. Однако эти балки более трудоемки в изготовлении, чем дощатоклееные.

Исследования, проведенные в Полоцком государственном университете [7], показали, что целенаправленное регулирование прочности несущих клееных элементов путем применения армированных клеевых швов позволяет влиять на напряженно-деформированное состояние клеодошчатых изгибаемых балок.

Цель данного исследования – определение наиболее эффективного материала для армирования и рационального расположения армированных клеевых швов в сечении изгибаемых клеодошчатых балок.

Влияние расположения клеевых швов на напряженно-деформированное состояние изгибаемых клеодошчатых балок оценивалось при испытаниях балок пролетом 950 мм с усиленными клеевыми швами в растянутой зоне. Балки состояли из семи слоев толщиной 20 мм и шириной 60 мм. Высота балок принималась 140 мм, что составляло 1/7 пролета. Склеивание производилось эпоксидной смолой марки ЭД-20 с отвердителем ПЭПА. Данная смола отличается особо высокой прочностью и универсальностью. Она твердеет без подогрева, лучше работает на отрыв и не дает усадки при твердении.

Для определения эффективности материала армирования были изготовлены и испытаны две партии клееных балок (рис. 2), отличающиеся материалом для усиления клеевых швов в растянутой зоне. В качестве армирующих материалов применялась продукция производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно»: для балок Б2-Б4 – стеклоткань, для балок Б5-Б7 – ровинг. Параллельно с армированными балками испытывали контрольную балку Б1 без усиленных клеевых швов.

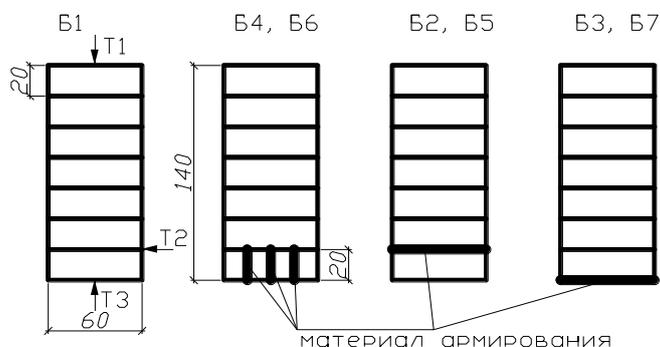


Рис. 2. Поперечные сечения опытных балок

В качестве усиления клеевых швов применялась стеклоткань Т11(92) (рис. 3, а), а также ровинг ЕС13-2400Р-30А(400) (рис. 3, б), технические характеристики которых приведены ниже.

*Стеклоткань конструкционная Т11:* переплетение – сатин 8/3; плотность, Н/10 см основы –  $220 \pm 1$ ; плотность, Н/10 см утка –  $130 \pm 1$ ; тип нити в основе – ЕС7-54×1×2, ЕС9-54×1×2; тип нити в утке – ЕС7-54×1×2, ЕС9-54×1×2; поверхностная плотность, г/м<sup>2</sup>, –  $385 \pm 15$ ; разрывная нагрузка, кН, в основе – 2,744; разрывная нагрузка, кН, в утке – 1,568; толщина, мм, –  $0,25 \pm 0,02$ .

*Ровинг ЕС13-2400Р-30А(400):* диаметр элементарной нити, мкм, – 13; номинальная линейная плотность, текс, – 2400; количество комплексных нитей в ровинге – 6; разрывная нагрузка, кН, – 0,6.



а)



б)

Рис. 3. Общий вид стеклоткани (а), ровинга (б)

Испытания производились по балочной схеме до разрушения с приложением сосредоточенных усилий в третях пролета. Нагружение осуществлялось с помощью винтовой силовой системы прессы П-125 через распределительную траверсу. Нагрузку прикладывали ступенями через 1 кН, что не превышало 1/10 от предполагаемой разрушающей нагрузки. Этапы нагружения контролировались через динамометр марки ДОСМ-3-5. В процессе испытания при помощи тензодатчиков Гугенбергера, расположенных в середине пролета, измеряли абсолютные деформации в растянутой зоне в трех местах: на верхней грани Т1, на нижней – Т3, а также на расстоянии 0,15h от нижней грани Т2.

Прогиб балки измерялся прогибомером в середине пролета на раме, шарнирно прикрепленной к концам балки по осям опор.

Разрушение всех опытных балок произошло от расслоения или раскалывания клееной древесины в локальных областях по клеевым швам. Следует отметить, что монолитность армированных клеевых швов сохранялась вплоть до разрушения.

Эталонная балка Б1 и усиленные балки Б4 и Б7 разрушились при нагрузке, равной 11 кН. Разрушение остальных балок Б2, Б3, Б5 и Б6 произошло при нагрузке 14 кН (рис. 4), что свидетельствует о влиянии усиления клеевых швов на несущую способность клееных конструкций.

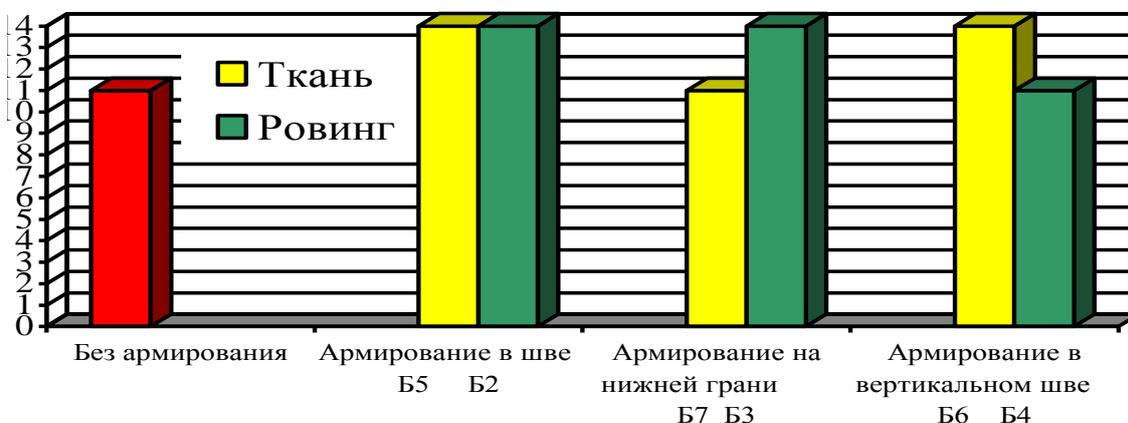


Рис. 4. Сопоставление экспериментальных величин разрушающих нагрузок

При сопоставлении теоретических величин разрушающих нагрузок (проектных и расчетных) опытных балок установлено, что максимальные несущую способность имеет балка Б1 (таблица), что не подтверждается экспериментальными данными и указывает на несоответствие методики расчета армированных клееных деревянных конструкций в случае усиления клеевых швов.

Значения экспериментальных и расчетных несущих способностей балок

№ балки	Поперечные размеры, мм		Разрушающая нагрузка, кН		
	b	h	проектная	расчетная (с учетом реальных характеристик материалов)	экспериментальная
Б1	60	142	16,30	23,63	11
Б2	59	139	15,47	22,42	14
Б3	59	140	15,82	22,93	14
Б4	60	140	16,07	23,28	11
Б5	58	140	15,45	22,38	14
Б6	61	140	16,23	23,52	14
Б7	59	142	16,03	23,23	11

Испытания не выявили значительных расхождений в жесткостях балок вплоть до пятой ступени нагружения, равной 5 кН (рис. 5). При дальнейшем увеличении нагрузок отмечалось значительное развитие деформаций в неармированной балке Б1 вплоть до разрушения.

Данные испытаний свидетельствуют о влиянии армирования балок Б3, Б6 и Б7 на увеличение жесткости по отношению к эталонной Б1 в среднем на 55, 37 и 60 % соответственно. Это указывает на то, что жесткость изгибаемых элементов во многом определяется ориентацией усиленных швов в растянутой зоне. Наиболее оптимальное расположение армирования для увеличения жесткости – на нижней крайней растянутой грани.

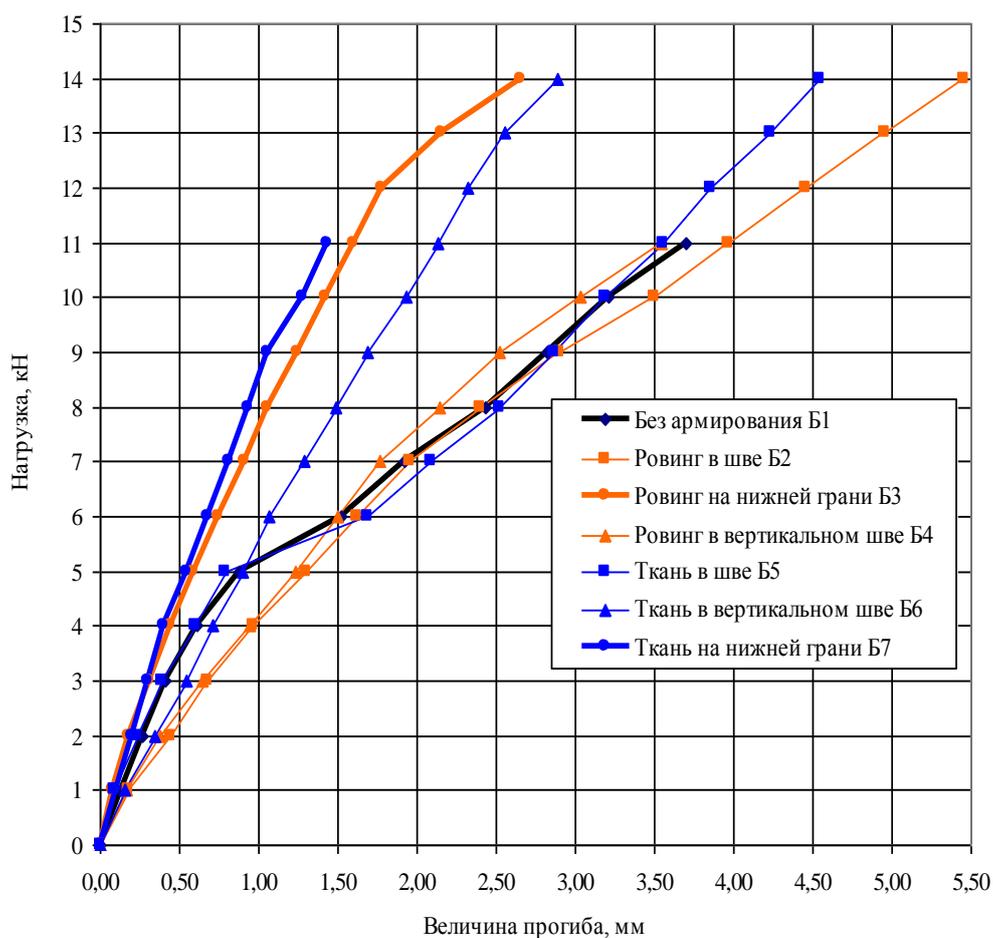


Рис. 5. Изменение прогибов в середине пролета при нагружении балок

Для оценки степени влияния усиленных швов на напряженно-деформированное состояние балки были выделены 4 характерных этапа нагружения:

*1 этап – нагрузка 3 кН.*

Растягивающие деформации балки Б1 были максимальные, а сжимающие – минимальные.

С точки зрения работы древесины наилучший результат показала балка Б7, ее деформации растяжения на 33,3 % меньше, чем у эталонной балки Б1.

*2 этап – нагрузка 7 кН.*

Различие в сжимающих напряжениях между наибольшим (Б4) и наименьшим (Б1) значениями составило 69 %.

В растянутой зоне между наименьшим (Б3) и наибольшим (Б1) значениями различие составило 53 %. Здесь балка Б1 также показала наихудший результат.

Балка Б7 показала наилучший результат.

*3 этап – нагрузка 11 кН (рис. 6, а).*

Различие в сжимающих напряжениях между наибольшим (Б4) и наименьшим (Б3) значениями составило 69 %.

В растянутой зоне между наименьшим (Б3) и наибольшим (Б1) значениями различие составило 53 %.

*4 этап – нагрузка 14 кН (рис. 6, б).*

На данном этапе нагружения продолжали работать (без разрушения) лишь балки Б2, Б3, Б5, Б6.

Различие в сжимающих напряжениях между наибольшим (Б6) и наименьшим (Б2, Б3) значениями составило 31 %.

В растянутой зоне между наименьшим (Б2, Б3) и наибольшим (Б5) значениями различие составило 29 %.

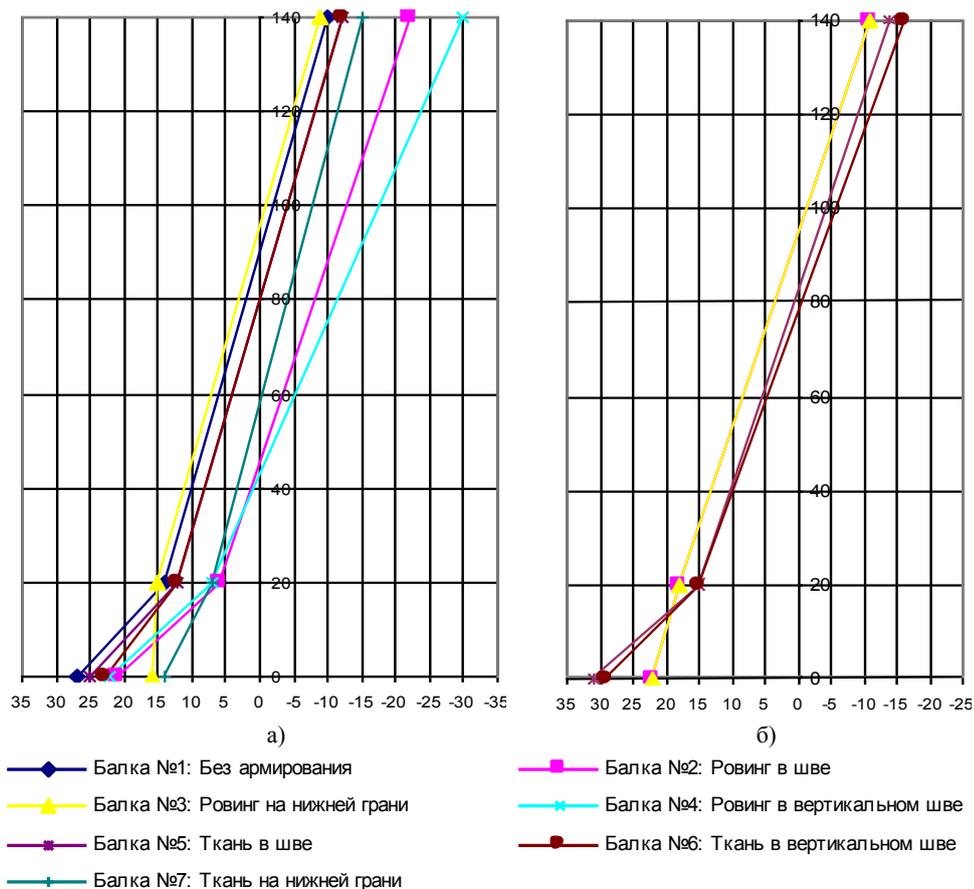


Рис. 6. Развитие деформаций по высоте сечения:  
а – при нагрузке 11 кН; б – при нагрузке 14 кН

### Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что армирование клеевых швов оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние, на несущую способность и жесткость изгибаемых деревянных элементов.

Анализ результатов испытаний показывает:

- наиболее оптимальным расположением армирования, независимо от материала, является нижняя растянутая грань;
- наилучшим материалом для армирования является стеклоткань;
- методика расчета армированных клеевых деревянных конструкций в случае усиления клеевых швов стеклотканью или ровингом требует корректировки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянные конструкции в строительстве / Л.М. Ковальчук, С.Б. Турковский, Ю.В. Пескунов и др. – М.: Стройиздат, 1995. – 248 с.
2. Шипков О.И., Варфоломеев Ю.А. Особенности расчета клеевых элементов, составленных из древесины двух пород // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – № 1. – С. 65 – 68.
3. Кормаков Л.И., Валентинавичюс А.Ю. Проектирование клеевых деревянных конструкций. – Киев: Будівельник, 1983. – 152 с.
4. Турковский С.Б., Варфоломеев Ю.А. Результаты натурных обследований деревянных конструкций // Промышленное строительство. – 1984. – № 6.
5. Калугин А.В. Деревянные конструкции: Конспект лекций. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 224 с.
6. Деревянные конструкции и детали: Справочник строителя / В.М. Хрулев, К.Я. Мартынов, С.В. Лукачев, Г.М. Шутов; Под ред. В.М. Хрулева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1995. – 384 с.
7. Волик А.Р., Цветинский И.И., Лазовская Н.Д. Особенности работы изгибаемых клеевых балок с усиленными клеевыми швами // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений: Сб. науч. тр. Вып. 2 / Под ред. Д.Н. Лазовского. – Новополоцк: ПГУ, 2006. – 248 с.