

ных смесей на основе мелкозернистого песка РМЭ в исследованном диапазоне составляет 96...98%, что удовлетворяет нормативным требованиям. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности применения очень мелкого песка РМЭ в сочетании с модифицирующей добавкой Метилан в количестве 0,02% от массы твердых компонентов для производства сухих строительных смесей марок не выше М50.

#### ВНЕШНЕЕ АРМИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ УГЛЕРОДНОЙ ЛЕНТОЙ

Уточкина Е.С., Крицин А.В.

Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Нижний Новгород, e-mail: kaka-byba@mail.ru

Проблема реставрации и восстановления зданий – памятников архитектуры – это проблема всех старинных российских городов. Реставрационные работы, как правило, начинаются с комплексного технического обследования зданий. При проведении обследования очень часто выясняется, что кроме реставрации самого фасада необходимо выполнить комплекс работ по усилению несущих и ограждающих конструкций здания. Обследование зданий памятников архитектуры постройки XIX и начала XX века показывает, что в опорных сечениях деревянных балок

часто возникают усушечные продольные трещины. Совершенствование технологии щадящего усиления исторически значимых конструкций, демонтаж и замена которых значительно дороже ремонта или невозможны вообще, является актуальной задачей.

Сравнительно простым, эстетичным, щадящим конструкцию способом усиления таких балок может являться поверхностное наклонное армирование опорных зон боковых граней однонаправленной лентой из углеволокна. Для проверки эффективности данного конструктивного решения в лаборатории кафедры КДКП ННГАСУ авторами был проведен эксперимент на малых образцах.

Для испытания были изготовлены два образца составных балочек длиной 720 мм общим сечением 20x40 мм из чистой древесины сосны с влажностью 8%, усиленные углеродной однонаправленной лентой производства холдинговой компании ЗАО «Композит» (г. Москва) марки FibARM с плотностью 230 г/м<sup>2</sup>, модулем упругости 230 ГПа и прочностью при растяжении 4 ГПа. Лента наклеивалась на боковые грани опорных зон балки по главным растягивающим напряжениям под углом 30°. В качестве связующего был использован клей на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с добавлением отвердителя полиэтиленполиамиона (ПЭПА) в пропорции 1/8 в весовых частях. Перед наклеиванием нижняя грань деревянных образцов зачищалась. Слой углеродного волокна укладывался на клеевой состав. В течение суток клей отвердевал (рис. 1).



Рис. 1. Образцы балочек до испытания

Для изучения напряженно-деформированного состояния балок с расчетным пролетом 640 мм была принята восьмиточечная схема нагружения, которая с достаточной точностью имитирует эксплуатационную нагрузку, равномерно распределенную по пролету. Расчетная нагрузка определялась в зависимости от геометрических размеров балок и расчетного сопротивления древесины на изгиб. Оснастка для испытательного стенда была собрана из деревянных брусков сечением 30x30 мм и 30x50 мм и стальных тросов диаметром 3 мм. Загружение производилось вручную ступенчато двадцати килограммовыми гирями в течение 2 минут до разрушения. При этом первой ступенью нагрузки являлось приложение веса корзины в 16 кг. На образцы был установлен прогибомер часового типа с ценой деления 0,1 мм для измерения прогибов посередине испытываемой балочки.

Разрушение обеих балок произошло при нагрузке 316 кг и имело первоначальной причиной хрупкую внезапную потерю прочности клеевого шва между одной из углеродных лент и древесиной. Это можно

увидеть по заранее нанесенным на балочки рискам (рис. 2). Составная балка, внезапно потерявшая связность работы составляющих ее элементов в тот же момент разрушалась от действия нормальных напряжений.



Рис. 2. Образец балочки после испытания

Для сравнения в табл. 1 приводятся значения экспериментальных и вычисленных по методикам [1,2], пределов прочности образцов с общим размером сечения 20x40 разной конструкции.

Сравнение экспериментальных и теоретических значений пределов прочности

Конструкция образцов	Расчет		Эксперимент
	Из чистой древесины	Из древесины первого сорта	
Балочка цельного сечения	324 кгс	170 кгс	–
Составная балочка на податливых связях нагельного типа	132 кгс	70 кгс	–
Составная балочка, усиленная углеволокном	262 кгс	222 кгс	316 кгс

При этом теоретические значения пределов прочности балочек, усиленных углеволокном, определялись исходя из следующих расчетов:

Суммарной сдвигающей силой верхней половины сечения относительно нижней при действии равномерно распределенной нагрузки определяется по формуле Журавского, на основании которой получим

$$T = \frac{1}{2} \tau_{\max} \frac{l}{2} b.$$

Максимальное касательное напряжение на опоре  $\tau_{\max}$ :

$$\tau_{\max} = \frac{QS}{Ib}.$$

Расчетная поперечная сила  $Q$ :

$$Q = \frac{ql}{2},$$

где  $q$  – линейная нагрузка на балку;  $l$  – пролет балки. Момент инерции  $I$ :

$$I = \frac{bh^3}{12},$$

где  $b$  – ширина поперечного сечения элемента;  $h$  – высота поперечного сечения элемента.

Статический момент инерции  $S$ :

$$S = \frac{bh^2}{8}.$$

Тогда суммарная сдвигающая сила равна:

$$T = \frac{1}{2} \frac{ql}{2} \frac{bh^2}{8} \frac{12lb}{8bh^3b \cdot 2} = \frac{3ql^2}{16h}.$$

Для восприятия данного сдвигового усилия используется лента из углеволокна, наклеенная в опорных зонах под углом  $30^\circ$  к оси балки.

Армирование должно воспринимать внешнюю сдвигающую силу как из условия прочности углеволокна:

$$\frac{T_{\text{тр}}}{F_{\text{расч}} \cdot 2} \leq R_{\text{ув}},$$

так и из условия прочности клеевого соединения:

$$\frac{T_{\text{тр}}}{A_{\text{расч}} \cdot 2} \leq R_{\text{к.ш}} = R_{\text{ск.0}},$$

где  $T_{\text{тр}}$  – требуемая несущая способность внешнего усиления;  $F_{\text{расч}}$  – площадь сечения внешнего армирования с одной стороны балки;  $A_{\text{расч}}$  – расчетная площадь взаимного перекрытия внешнего армирования и половины сечения балки с одной стороны;  $R_{\text{ув}}$  – расчетное сопротивление углеволокна на разрыв;  $R_{\text{ск.0}}$  – расчетное сопротивление скалыванию клеевого шва.

Для того чтобы балка разрушалась не по нормальным напряжениям в пролете, а по касательным на опоре, подберем соответствующее внешнее армирование опор.

Максимальные нормальные напряжения в древесине растянутой зоны не должны превышать расчетного сопротивления древесины на растяжение:

$$\frac{M}{Wk_w} \leq R_n^ч,$$

где  $k_w$  – коэффициент для расчета составного сечения и принятый равным 0,6.

Расчетный изгибающий момент  $M$ :

$$M = \frac{ql^2}{8}.$$

Момент сопротивления поперечного сечения элемента  $W$ :

$$W = \frac{bh^2}{6}.$$

$R_n^ч = 57$  МПа – нормативное сопротивление чистой древесины изгибу.

Требуемая несущая способность внешнего армирования:

$$T_{\text{тр}} = \frac{QSl}{4I \cos \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол между направлением сдвигового усилия и углеволокном, равный  $30^\circ$  из конструктивных соображений.

Площадь сечения внешнего армирования с одной стороны балки:

$$F_{\text{расч}} \geq \frac{T_{\text{тр}}}{R_{\text{ув}} \cdot 2},$$

где  $R_{\text{ув}} = 4000$  МПа – расчетное сопротивление углеволокна на разрыв.

Расчетная площадь взаимного перекрытия внешнего армирования и половины сечения балки с одной стороны:

$$A_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{треб}}}{R_{\text{ск.0}} \cdot 2},$$

где  $R_{\text{ск.0}} = 45,6$  кг/см<sup>2</sup> – нормативное сопротивление скалыванию клеевого шва для чистой древесины.

При проведении расчета было определено, что для усиления образца с размерами поперечного сечения 2x4 см и пролетом 64см требуется один слой углеволокна с каждой стороны сечения с площадью  $A_{\text{треб}} = 7,7$  см<sup>2</sup>, данное усиление приведет к одновременному разрушению по нормальным и касательным напряжениям. Для гарантированного разрушения по касательным напряжениям уменьшаем площадь армирования на 30%, тогда площадь углеволокна составит  $A_{\text{треб}} = 5,4$  см<sup>2</sup> (рис. 3).

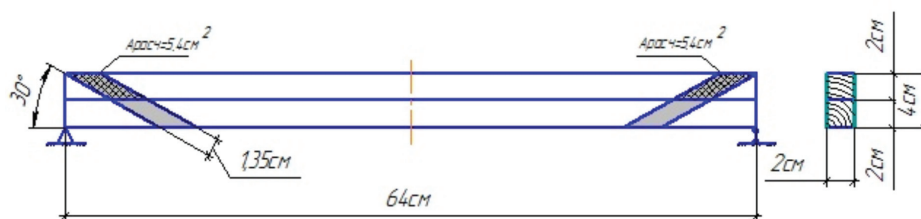


Рис. 3. К определению расчетной площади взаимного перекрытия внешнего армирования и половины сечения балки с одной стороны

Из таблицы видно, что составная балочка, усиленная углеволокном, имеет фактический предел прочности очень близкий к теоретическим значениям предела прочности цельной балки. По мнению авторов, это можно отнести скорее к совпадению, поскольку разрушение в обоих случаях начиналось с разрушения клеевого шва между углеволокном и древесиной.

При этом предложенная методика расчета составной балочки, усиленной углеволокном, дает заниженный результат, что можно считать вполне удовлетворительным на данном этапе, но требующим дальнейшего совершенствования метода расчета.

#### Список литературы

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции: Строительные нормы и правила: утв. Минрегион России 28.12.10. – М., 2010.
2. СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М., 2011.
3. Цапаев В. А. Оценка модуля упругости древесины конструкций // Жилищное строительство. – 2003. – № 2. – С. 11-13.
4. Лукин М.В. Совершенствование конструкций и технологии производства деревоклееных композитных балок: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Архангельск, 2010. – 20 с.

5. Щуко В.Ю., Рошина С.И. Клееные армированные деревянные конструкции: учебное пособие. – СПб.: ГИОРД, 2009. – С. 128.

### КОМПЛЕКСНАЯ ВЫРАБОТКА ТЕПЛА В КОТЕЛЬНЫХ СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Юрасов Е.В., Шаров А.В.

Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Нижегород, e-mail: zheka777\_92@mail.ru

Согласно проведенным исследованиям в Нижегородской области с 2007 года реализуется программа строительства многофункциональных физкультурно-оздоровительных комплексов (ФОКов). За время реализации программы уже построено и введено в эксплуатацию более 10 ФОКов (в Сергаче, Семенове, Лыскове, Перевозе т.д.). По программе в Нижегородской области и Нижнем Новгороде в 2011-2015 годах планируется строительство 39 ФОКов.



Рис. 1. Внешний вид типового физкультурно-оздоровительного комплекса

В условиях существующих инженерных коммуникаций подключение новых проектируемых нагрузок не всегда является возможным, так как пропускная способность существующих газопроводов ограничена. Одним из вариантов решения вопроса

в обеспечении проектируемых нагрузок по теплу (отопление, вентиляция, подогрев воды в чаше бассейна и горячее водоснабжение) ФОКов является строительство автономных котельных с комплексной выработкой тепла. Тепловая мощность одной такой