

На правах рукописи



Христофорова Татьяна Николаевна

**ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ОСЛАБЛЕНИЙ
ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА РАБОТУ
АРМИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК**

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2006

Научный руководитель
кандидат технических наук, профессор
Щуко Владислав Юрьевич

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор
Корчак Михаил Дмитриевич,
кандидат технических наук, доцент
Коробов Анатолий Носифович

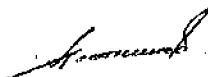
Ведущая организация
ЦНИИСК им. Кучеренко (г. Москва)

Защита состоится 27 декабря 2006 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.162.03. при Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, корпус 5, ауд. 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан "24 " ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



Н. М. Плотников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Несущая способность деревянных конструкций зависит от прочностных свойств, состояния и количественного соотношения сортообразующих пороков древесины, основными из которых являются сучки. Пороки древесины, особенно сучки, оказывают большое влияние на процесс склеивания, качество клеевого соединения и конструкции в целом. Многочисленные исследования клееных конструкций наглядно показали, что при испытаниях конструкций на изгиб одной из основных причин разрушения являются пороки древесины. Для снижения влияния пороков на качество конструкций используют сортировку пиломатериалов по сортам. Согласно ГОСТ 8486-86 пиломатериалы распределяют на 1-й, 2-й, 3-й и 4-й сорта. При производстве несущих клееных конструкций, древесину 3-го и 4-го сортов практически не применяют. Для повышения качества и прочностных свойств древесины на деревообрабатывающих предприятиях широко распространено сращивание по длине с вырезанием недопустимых пороков. При этом из всех видов клеевых соединений чаще всего используют зубчатый шип. Малая длина и возможность полной автоматизации процесса склеивания обусловили применение этого вида соединения практически на всех отечественных и зарубежных предприятиях. Но в процессе поточного изготовления клееных конструкций прочность слоев, определяющих структуру клеевого элемента, заметно снижается. Разрушение балок происходит по нижнему растянутому слою, что естественно, так как зубчатое соединение занимает всю площадь поперечного сечения элемента. Таким образом, наличие зубчатого соединения, особенно в изгибаемых элементах, не позволяет

использования пиломатериалов I-го сорта, так как прочность таких балок с зубчатыми соединениями находится на том же уровне, что и у балок с нестыкованными по длине слоями из древесины 3-го сорта, с естественными ослаблениями в растянутой зоне.

Эффективным способом снижения влияния пороков древесины естественного происхождения (сучков), а также искусственно созданных (зубчатых соединений), на прочность и несущую способность конструкций является армирование элементов стальными стержнями. Оно позволяет на 25 – 30 % уменьшить высоту сечения деревянных элементов, сократить на 30 – 40 % расход древесины, снизить на 15 – 25 % монтажную массу, на 12 – 18 % стоимость, а также дает возможность применения древесины 3-го сорта за счет восприятия арматурой значительной части усилий. Причем с течением времени в арматуре значение доли воспринимаемых усилий от действующего изгибающего момента только увеличивается.

Необходимо отметить, что в данной диссертационной работе рассматривались наиболее часто встречающиеся виды ослаблений: естественного происхождения – сучки и искусственно созданные – зубчатые соединения. Технологические отверстия (подрезки) не рассматривались ввиду того, что данный вид ослаблений в конструкциях принимается исходя из конструктивных соображений.

Цель диссертационной работы

Цель диссертационной работы – определить степень влияния некоторых видов ослаблений поперечного сечения на напряженно-деформированное состояние армированных деревянных балок и разработать рекомендации по расчету конструкций с учетом ослаблений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить исследование напряженно-деформированного состояния армированных балок с ослабленным сечением;
- определить характер разрушения армированных балок с ослаблениями;
- выявить возможности применения в армированных цельнодеревянных конструкциях (прогоны, ребра плит покрытия) древесины 3-го сорта вместо 2-го сорта;
- определить влияние степени армирования на несущую способность и надежность против обрушения клееных деревянных конструкций с технологическими ослаблениями сечения (зубчатый шип) в растянутой зоне;
- уточнить методику инженерного расчета армированных балок с ослабленными сечениями;
- провести численные исследования и создать трехмерные модели армированных деревянных балок, а также исследовать влияние вида ослаблений на прочность и деформативность таких балок;
- оценить технико-экономическую эффективность армированных деревянных балок 3-го сорта в сравнении с неармированными балками, изготовленными из древесины 2-го сорта.

Объект исследования:

- армированная деревянная балка с ослабленным сечением в пролете.

Предмет исследования:

- напряженно-деформированное состояние армированных деревянных балок с ослабленным сечением.

Методы исследования:

1. Математическое моделирование.
2. Физическое моделирование с применением методов теории подобия.

3. Экспериментальные методы исследования, в том числе тензометрический метод определения НДС.

4. Методы математической статистики.

Научную новизну работы составляют:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований работы армированных балок с ослабленным сечением;

- обоснованная возможность применения в армированных конструкциях древесины 3-го сорта с естественными и технологическими ослаблениями;

- уточненный метод расчета изгибаемых армированных балок с учетом ослаблений;

- статистически обоснованные результаты экспериментальных исследований независимости значений разрушающей нагрузки армированных деревянных конструкций от сорта древесины при повышении коэффициента армирования.

На защиту выносятся:

- результаты анализа отечественных и зарубежных исследований влияния ослаблений на прочность и деформативность элементов;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований прочности и деформативности балок с ослабленным сечением;

- рекомендации по инженерному методу расчета армированных балок с учетом ослаблений сечения.

Практическое значение:

- предложена методика учета ослаблений при инженерном методе расчета армированных деревянных балок;

- экспериментально подтверждена и статистически обоснована независимость значений разрушающей нагрузки армированных

деревянных конструкций от сорта древесины за счет повышения коэффициента армирования.

Внедрение результатов работы

Результаты исследования и уточненный инженерный метод расчета армированных деревянных балок использованы при проектировании прогонов и ребер плит покрытия ООО «Владимирский промстройпроект» (г. Владимир), в научно-исследовательских хозяйственных работах Владимирского государственного университета, в учебном процессе на кафедре строительных конструкций ВлГУ при курсовом и дипломном проектировании.

Апробация и публикации работы

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на отраслевых и международных научно-технических конференциях. Основные положения диссертации опубликованы в 10 печатных работах, в том числе две – в научных журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы:

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, библиографического списка – всего 189 страниц машинописного текста, в том числе 72 рисунка, 29 таблиц, библиографический список из 131 названия.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, научное и практическое значение работы.

В первой главе приведен обзор основных видов ослаблений естественного и искусственного происхождения и способов повышения прочности деревянных конструкций путем армирования. Вопросами

влияния пороков древесины на несущую способность конструкций занимались такие ученые, как Л.М. Ковальчук, Н.А. Леонтьев, А.Н. Флаксерман, А.С. Фрейдin, С.Н. Ванин и др. Проведен краткий обзор исследований развития армированных деревянных конструкций, области их применения и анализ существующих методов их расчета. Большой вклад в разработку и исследование армированных деревянных балок внесли: И.М. Линьков, В.Ю. Шуко, Ю.М. Иванов, В.М. Сороткин, В.Ф. Бондин и другие авторы.

Сучки – один из существенных пороков древесины естественного происхождения. Влияние сучка на прочность древесины обусловлено в основном двумя факторами:

1) ослаблением, которое производит сучок, обладающий пониженным сопротивлением (вдоль волокон) окружающей его древесины и к тому же слабо связанный с этой древесиной (частично сросшиеся, несросшиеся и выпадающие сучки);

2) отклонением волокон древесины у сучка, образующим местный косослой.

Особенно значительно снижают несущую способность растянутых элементов расположенные на краях сучки, вызывая появление ослабления поперечного сечения. Наличие сучка в сжатой зоне изгибаемых элементов сказывается на их прочности в меньшей степени в связи с существенным сопротивлением сжатию самого сучка и меньшим влиянием наклона волокон присучковой косослойной древесины при сжатии.

Как правило, разрушение элементов конструкций часто происходит по наиболее ослабленным участкам.

Проблему повышения прочности древесины решают путем удаления недопустимых пороков древесины с последующим склеиванием

досок. Наиболее часто используется соединение элементов на зубчатый стык. Небольшая длина стыка (25 – 50 мм) позволяет соединить отрезки досок длиной от 250 мм, что дает возможность использовать качественные короткомерные отходы и способствует повышению сортности пиломатериалов.

Однако разрушение образцов начинается чаще в растянутых зубчатых соединениях. Проведенный в ЦНИИСКе И.П. Преображенской анализ результатов испытаний на изгиб 300 клееных элементов натуральных размеров показал, что 52 % балок разрушились по зубчатым соединениям, 28 % – по естественным порокам, 20 % – по чистой древесине.

Проведенные за последнее время в ЦНИИСКе испытания балок показали, что в условиях массового производства основным местом разрушения являются зубчатые соединения (около 50 %), а также сучки в слоях растянутой зоны конструкций.

Таким образом, наличие сучков или зубчатых соединений в наиболее напряженных слоях растянутой зоны изгибаемых клееных элементов приводит, как правило, к их разрушению именно по этим ослаблениям.

Для снижения влияния сучка и зубчатого стыка было предложено подкреплять деревянные элементы стальными.

Первые разработки и исследование клееных армированных деревянных конструкций провел Х. Гранхольм (Швеция). Соединение арматуры с древесиной в этих конструкциях выполнялось с помощью эпоксидных и фенолоформальдегидных клеев.

Развитие армированных деревянных конструкций идет в двух направлениях: использование обычной арматуры и предварительно напряженной арматуры. Первый способ армирования находит более широкое применение, поскольку дает положительный эффект при

относительно небольших трудозатратах и капиталовложениях в специальное технологическое оборудование. Кроме продольного армирования распространено поперечное и продольно-поперечное армирование для обеспечения надежности приопорных сечений конструкций против скалывания и раскалывания.

В работах В.Ю. Шуко, Е.А. Смирнова выявлено, что оптимальным считается армирование деревянных сечений в пределах 1,5 – 3,5 % от площади сечения, при этом арматура может воспринимать от 30 до 80 % действующих усилий в сечении армированной конструкции. В армированных балках при длительной эксплуатации происходит изменение напряжений в арматуре и в дереве. Вследствие ползучести древесины происходит перераспределение усилий в сечениях армированной балки. В результате этого напряжения в арматуре возрастают с течением времени, а в древесине соответственно снижаются. Подобное явление, приводящее к увеличению доли участия арматуры в работе балки, в целом положительно сказывается на работе конструкции и приводит к повышению надежности и уменьшению деформативности во времени.

Анализ результатов ранее проведенных исследований показывает, что армирование позволяет снизить влияние естественных пороков (сучки) в цельнодеревянных конструкциях (ребра каркаса плит покрытия, прогоны и т.п.) и технологических ослаблений (зубчатый стык) в растянутых зонах несущих клееных конструкциях на прочность и деформативность конструкций и в целом повысить их надежность против обрушения.

В результате проведенного диссертантом исследования сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе приведены теоретические исследования прочности и деформативности деревянных балок с ослабленным сечением.

На первом этапе определялась максимальная несущая способность нормальных сечений балок по приближенному методу на основе спрямленных диаграмм Белякина – Прагера. При этом за исходные показатели прочности древесины приняты величины временного сопротивления при сжатии $\sigma_{вр,с}$ и растяжении $\sigma_{вр,р}$, для арматуры – предел текучести σ_T , определенные на стандартных образцах. Идея метода заключается в определении максимальной величины теоретического разрушающего момента в нормальных сечениях армированного деревянного элемента:

- для двойного симметричного армирования:

$$M_{\max} = \sigma_{вр,с} b [h_{yc}^2 + \psi h_p^2 + 3h_{nc}(2h_{nc} + h_{yc})/2]/3 + \sigma_T h_{op} F_a / 2, \quad (1)$$

- для одиночного несимметричного армирования:

$$M_{\max} = \sigma_{вр,с} b [h_{yc}^2 + \psi h_p^2 + 3h_{nc}(2h_{nc} + h_{yc})/2]/3 + \sigma_T h_{op} F_a, \quad (2)$$

где h – высота сечения элемента; h_{nc} h_{yc} – расчетные высоты соответственно пластической и упругой зон сжатой части сечения; h_p – расстояние между центрами масс сечений арматуры сжатой и растянутой зон сечения; h_o – высота сечения элемента до центров арматуры; h_{op} – высота сечения элемента от нейтральной оси до центра арматуры; b – ширина сечения элемента; F_a – площадь арматуры; $\psi = \sigma_{вр,р} / \sigma_{вр,с}$ – отношение предела прочности древесины на растяжение к пределу прочности древесины на сжатие.

Все расчеты велись в предположении, что модули упругости древесины при растяжении и сжатии равны; сечения армированного элемента сохраняются плоскими до и после деформирования; деформации арматуры и древесины равны и совместны; волокна древесины и арматуры в сечениях элемента не оказывают давления друг на друга и испытывают

линейное сжатие или растяжение; напряжения и деформации в арматуре возрастают пропорционально до предела текучести, после его достижения растут только деформации, т. е. диаграмма деформирования принимается идеально-пластической.

На втором этапе максимальная несущая способность нормальных сечений балок определялась также по приближенному методу на основе спрямленных диаграмм Белянкина – Прагера. Но при этом за исходные показатели прочности древесины приняты величины временного вероятного минимального сопротивления при сжатии $\sigma_{вр.с}^{\min}$ и растяжении $\sigma_{вр.р}^{\min}$, для арматуры – предел текучести σ_T , а также в основу расчета было положено определение M_{\max} с учетом ослабления сечения.

С учетом ослабления было определено положение нейтральной оси: h_{yc} , h_{nc} и h_p – высота упругой зоны сжатой части сечения, пластической зоны сжатой части сечения и высота растянутой части сечения, соответственно.

Представленный метод расчета армированных конструкций путем учета естественного ослабления позволяет с достаточной точностью определить значение максимального изгибающего момента:

– для двойного симметричного армирования (рис. 1, а):

$$M_{\max} = \sigma_{вр.с}^{\min} b [h_{yc}^2 + \psi (h_p - h_{осл})^2 + 3h_{nc}(2h_{nc} + h_{yc})/2]/3 + \sigma_T h_o F_a / 2, \quad (3)$$

– для одиночного армирования (рис. 1, б):

$$M_{\max} = \sigma_{вр.с}^{\min} b [h_{yc}^2 + \psi (h_p - h_{осл})^2 + 3h_{nc}(2h_{nc} + h_{yc})/2]/3 + \sigma_T h_{op} F_a. \quad (4)$$

где $h_{осл}$ – высота ослабленного сечения; h_p – расчетная высота растянутой части сечения без учета ослабления; $\psi^{\min} = \sigma_{вр.р}^{\min} / \sigma_{вр.с}^{\min}$ – отношение значений относительных вероятных минимальных временных сопротивлений древесины растяжению и сжатию. При этом значение ψ^{\min} будет равно: $\sigma_{вр.р}^{\min} / \sigma_{вр.с}^{\min} = 550 / 300 = 1,8$.

Разница в определении несущей способности двумя рассмотренными методами составляет 31,9 %.

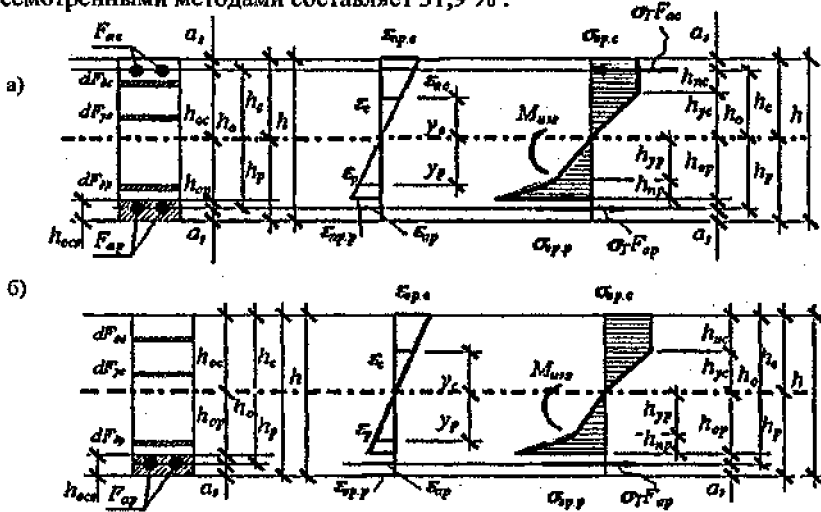


Рис. 1. Расчетные эпюры нормальных напряжений при изгибе с учетом ослабления:

а – при симметричном армировании; б – при одиночном армировании

На третьем этапе определялась величина концентрации напряжений, путем нахождения коэффициента концентрации напряжений, учитывающего влияние ослабления при расчетах конструкций (рис. 2), и определялась площадь эпюры с учетом ослабления.

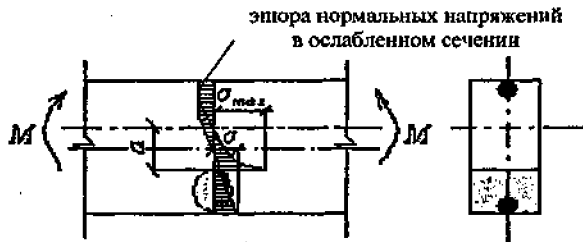


Рис. 2. Концентрация напряжений в ослабленном сечении при чистом изгибе

$$\alpha_{\sigma} = \frac{4 \frac{a}{r} \sqrt{\frac{a}{r}}}{3 \left[\sqrt{\frac{a}{r}} + \left(\frac{a}{r} - 1 \right) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a}{r}} \right]}, \quad (5)$$

где α_{σ} — коэффициент концентрации напряжений; r — радиус кривизны в глубине ослабления.

При этом откорректирована методика расчета балок по приведенным геометрическим характеристикам с учетом ослаблений древесины. При расчете армированных балок с ослабленным сечением исключалось из работы сечение, соответствующее размеру ослабления. Методика расчета включает в себя:

1) находится положение нейтральной оси. Необходимо отметить, что нейтральная ось не совпадает с осью симметрии сечения, поэтому сначала определялось ее положение, то есть вычислялись координаты центра тяжести. Поэтому геометрические характеристики армированного сечения прямоугольной формы принимают вид:

$$y_0 = -(F_A y_A + n F_{\text{ар}} y_{\text{ар}}) / F_{\text{уп}} = -h/2 [1 + K_{\text{pc}}(1 - K_{\text{pc}}) / K_{\text{pc}} + n\mu]. \quad (6)$$

Отсюда находят размеры сжатой h_c и растянутой h_p зон сечения соответственно:

$$\begin{aligned} h_p &= |y_0| = h/2 [1 + K_{\text{pc}}(1 - K_{\text{pc}}) / K_{\text{pc}} + n\mu]; \\ h_c &= h - h_p = h/2 [1 - K_{\text{pc}}(1 - K_{\text{pc}}) / K_{\text{pc}} + n\mu]. \end{aligned} \quad (7)$$

Положение координат

$$y_A = h/2 [K_{\text{pc}}(1 - K_{\text{pc}}) / K_{\text{pc}} + n\mu]; \quad y_{\text{ар}} = h/2 [n\mu(1 - K_{\text{pc}}) / K_{\text{pc}} + n\mu]; \quad (8)$$

2) находятся приведенные геометрические характеристики сечения с двойным армированием — момент инерции, статический момент сдвигаемой части соответственно:

$$\begin{aligned} J_{\text{уп}} &= b h_{\text{pc}}^3 / 12 + b h_{\text{pc}} y_A^2 + n F_{\text{ар}} (h_c / 2)^2 + n F_{\text{ар}} y_{\text{ар}}^2 = \\ &= b h^3 / 12 [K_{\text{pc}}^3 + 3n\mu (K_{\text{pc}}^2 + K_{\text{pc}}(1 - K_{\text{pc}})^2) / (K_{\text{pc}} + n\mu)]; \end{aligned}$$

$$S_{np} = bh^2/2 + nF_a(h_c - a)/2 =$$

$$= bh^2/8 [K_{pc}^2 + n\mu (2K_{h_0} - 1 + (1 + n\mu)(K_{pc}^2 + n\mu)/(K_{pc} + n\mu)^2)], \quad (9)$$

где J_{np} – приведенный момент инерции сечения относительно нейтральной оси; S_{np} – приведенный статический момент сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси; $K_{pc} = h_{pc}/h$ – коэффициент отношения высоты рабочего сечения к полной высоте сечения, K_{pc} может изменяться в зависимости от сорта древесины: 1-й сорт – 0,25; 2-й сорт – 0,33; 3-й сорт – 0,50; $K_{h_0} = h_0/h$ – коэффициент отношения высоты сечения конструкции без учета защитного слоя арматуры к полной высоте сечения; F_a – площадь сечения арматуры; $\mu = F_a/bh$ – коэффициент армирования;

3) определяется положение нейтральной оси в сечении с одиночным армированием:

$$y_0 = -(F_a y_a + nF_a y_a)/F_{np} = -h [K_{pc}(2 - K_{pc}) + 2n\mu(1 - K_{h_0})]/2(K_{pc} + n\mu). \quad (10)$$

Отсюда находятся размеры сжатой h_c и растянутой h_p зон сечения:

$$h_p = h[K_{pc}(2 - K_{pc}) + 2n\mu_n(1 - K_{h_0})]/2(K_{pc} + n\mu_n);$$

$$h_c = h - h[K_{pc}^2 + 2n\mu_n K_{h_0}]/2(K_{pc} + n\mu_n); \quad (11)$$

4) находятся приведенные геометрические характеристики сечения с одиночным армированием – момент инерции и статический момент соответственно:

$$J_{np}'' = J_d + J_{oc}'' + nF_a'' h_{np}^2 = bh_{pc}^3/12 + bh_{pc}h^2[1 - h_{pc}/2h -$$

$$- (K_{pc}(2 - K_{pc}) + 2n\mu_n(1 - h_0/h)/2(K_{pc} + n\mu_n))]^2 + nF_a'' h[((2 - K_{pc}) +$$

$$+ 2n\mu_n(1 - h_0/h)/2(K_{pc} + n\mu_n)) - a/h]^2 =$$

$$= bh^3/12[1 + (3n\mu_n K_{pc}(2K_{h_0} - K_{pc}^2))/(K_{pc} + n\mu_n)];$$

$$S_{np}'' = bh^2/2 = bh^2/8[(K_{pc}^2 + 2n\mu_n(h_0/h))/(K_{pc} + 2n\mu_n)]^2, \quad (12)$$

где J_{np}'' – приведенный момент инерции сечения относительно нейтральной оси; S_{np}'' – приведенный статический момент сдвигаемой

части сечения относительно нейтральной оси; F_a'' – площадь сечения арматуры; $\mu_a = F_a''/bh$ – коэффициент армирования.

Исследование влияния армирования на прогибы балок с ослаблениями проводилось на основе изучения работы армированных и неармированных деревянных балок с естественными и технологическими ослаблениями. Было рассмотрено два вида балок: с естественным ослаблением (сучок) и технологическим ослаблением (пропил). В каждом виде балок было по три серии: первая серия – неармированные, вторая серия – армированные, $d_a = 8$ мм и третья серия – армированные, $d_a = 10$ мм. Армирование выполнялось симметрично, по одному стержню в сжатой и растянутой зонах. В каждой серии по четыре балки, длина балок 1,80 м. Для всех серий были рассчитаны прогибы при нагрузке $q_{норм} = 4,08$ кН (значение нормативной нагрузки для неармированной балки без ослабления), с учетом μ и h .

В результате предварительного исследования влияния естественных ослаблений – сучков – выявлено, что при армировании значительно увеличивается величина расчетных и разрушающих нагрузок и снижается величина прогибов за счет восприятия арматурой части усилия от изгибающего момента (рис. 3).

В представленном методе учета ослаблений при расчете конструкций рассмотрен естественно созданный вид ослабления – сучок, а не искусственно созданное – зубчатый стык – в виду того, что в настоящее время нормируется лишь естественный вид ослаблений (ГОСТ 8486-86). Ослабления зубчатыми стыками необходимо приравнивать к ослаблениям древесины 3-го сорта, целесообразность данного шага была подтверждена экспериментальными данными и практическим опытом применения, представленными в первой главе.

Численные исследования напряженно-деформированного состояния деревянных балок с ослабленным сечением проводились на ЭВМ по методу конечных элементов с применением программного комплекса «COSMOS/M». Для сопоставления теоретических и экспериментальных данных на первом этапе исследовались модели балок пролетом 1,80 м; $h \times b = 125 \times 30$ мм; с симметричным армированием $2\varnothing 8$ АШ, в середине пролета создавалось искусственное ослабление – пропил высотой 1,0; 2,0; 3,0 см. На втором этапе исследовались армированные и неармированные модели балок, с естественным видом ослабления в середине пролета – сучком, размер которого задавался в зависимости от сорта древесины. Размеры балок: пролет 1,80 м, $h = 115; 105; 95$ мм при $b = 30$ мм. Балки исследовались как с симметричным армированием: $2\varnothing 8$ АШ и $2\varnothing 10$ АШ, так и без него.

Расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет около 5–10 %.

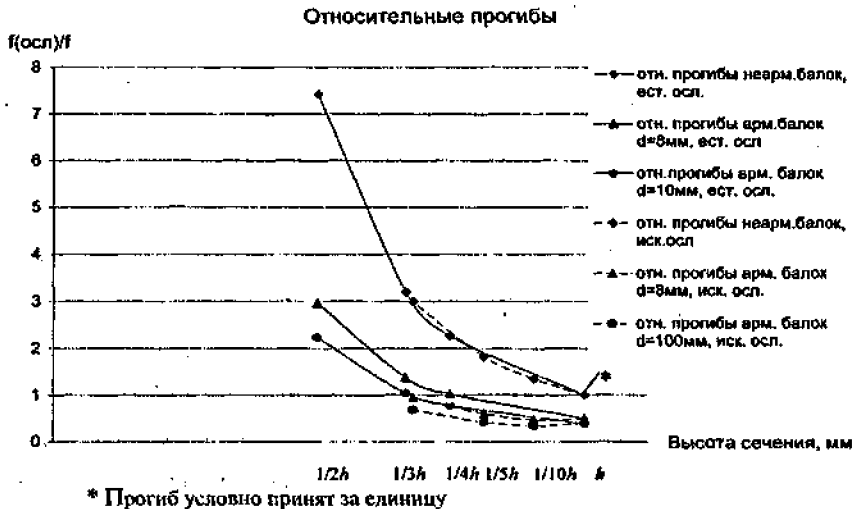


Рис. 3. Зависимость прогибов балок от величины ослабления

В третьей главе диссертации приведена методика испытания деревянных армированных балок с ослабленным сечением, дано обоснование их моделирования, изложена методика планирования эксперимента. Выполнен анализ, позволяющий сделать выводы о прочности и деформативности конструкций в зависимости от вида ослабления балок.

Экспериментальные исследования были разделены на три части. В целях сокращения трудоемкости и затрат времени на проведение эксперимента анализ работы армированных балок с ослаблением был проведен на моделях цельнодеревянного сечения. На основании полного геометрического подобия расчетный пролет моделей балок был принят равным 1,80 м.

Расчетная нагрузка определялась в зависимости от геометрических размеров балок и расчетного сопротивления древесины на изгиб. На основании рекомендаций по испытанию деревянных конструкций ступень нагружения назначена равной 0,2 от расчетной нагрузки.

Загружение выполнялось двумя сосредоточенными силами в третях пролета для получения зоны чистого изгиба.

Прогибы всех исследуемых балок измерялись с помощью прогибомеров типа ПАО-6. Деформации арматуры и древесины измерялись цифровым тензометрическим комплексом СИИТ-3М.

На первом этапе экспериментальных исследований определялся модуль упругости балки без арматуры, который учитывает неоднородность древесины, пороки.

На втором этапе исследовалось напряженно-деформированное состояние балок с ослабленным сечением, определялся характер разрушения.

В первой части эксперимента исследовалось влияние трех основных факторов: высоты h , коэффициента армирования μ и сортности древесины C на прочность и деформативность балок.

Для исследования влияния естественных видов ослаблений (сучков) на работу конструкций из древесины цельнодеревянного сечения (прогоны и ребра плит покрытия) величина ослаблений была принята согласно ГОСТ 8486-86, по величине основных сортообразующих пороков древесины (сучков), т.е. древесина была разделена на 1-й, 2-й, 3-й сорта.

В целях установления закономерностей прочности и деформативности армированных деревянных балок каждому из основных факторов необходимо задавать не менее чем по три значения и при каждом из них измерять величины вторичных факторов. Вследствие этого целесообразно было применить метод, позволяющий с помощью минимального числа экспериментов установить объективные закономерности, которые выражаются зависимостями различных факторов друг от друга, для последующего использования найденных зависимостей. Методика планирования эксперимента основана на комбинационном квадрате (табл. на стр. 18). Принятый комбинационный квадрат разработан для трех первичных факторов, каждый из которых включает в себя три варианта.

После определения нормативных нагрузок для каждой балки вычислен прогиб с учетом жесткости, сдвиговых деформаций и приведенных геометрических характеристик сечений. За основу была принята балка Б-0, имеющая размеры: пролет $l = 1,8$ м, высота сечения $h = 125$ мм, что составляет $h/l = 1/14,4$, ширина сечения $b = 30$ мм, отношение базы тензорезистора к высоте модели при этом составляет 0,16. Армирование балок проводилось арматурными стержнями класса АIII, $\varnothing 8$ мм и $\varnothing 10$ мм, при этом μ – коэффициент армирования равен 0,027 и 0,042

соответственно в качестве основного материала применялась сосна. Вклеивание стержней осуществлялось эпоксидно-песчаным компаундом в пазы прямоугольного сечения.

Маркировка и параметры деревянных балок пролетом 1,8 м

| μ \ h/l | 1/16 | | | 1/17 | | | 1/19 | | |
|-------------|------|----|-----|------|----|-----|------|----|-----|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| 0 | | | | | | | | | |
| 0,027 | | | | | | | | | |
| 0,042 | | | | | | | | | |

Во второй части эксперимента исследовалось влияние технологических ослаблений (зубчатый шип) на армированные деревянные балки. За основу была принята балка, имеющая размеры: $L = 1,80$ м; $h = 125$ мм; $b = 30$ мм, что составляет $h/L = 1/14,4$. Армирование балок проводилось арматурными стержнями класса АIII, $\varnothing 8$ мм, при этом $\mu = 0,027$, в качестве основного материала применялась сосна. Вклеивание стержней осуществлялось эпоксидно-песчаным компаундом в пазы прямоугольного сечения. Технологические ослабления в конструкциях были смоделированы в виде искусственно созданных ослаблений – пропилов, располагавшихся в середине пролета, в растянутой зоне, по всей ширине сечения балки. Такое ослабление сечения балок моделирует возможные ослабления сечений при применении клееной древесины на зубчатый стык. Высота ослаблений была равна 1,0; 2,0; 3,0 см, что соответствует значениям $0,09h$, $0,19h$, $0,32h$, где h – высота сечения балки при сравнении древесины 3-го сорта с древесиной 1-го и 2-го сорта, ширина ослаблений равна 2 мм. Балки были как армированные, так и неармированные. Армирование балок осуществлялось стержнями класса АIII $\varnothing 8$ мм, что составляет $\mu = 0,027$.

На третьем этапе экспериментальных исследований изучалась зависимость влияния нескольких факторов: C , h , μ на прочность и деформативность армированных цельнодеревянных и клееных конструкций. Во ВЛГУ проводились исследования на большепролетных моделях армированных балок и натурные испытания прогонов.

Пролет армированных балок составил 4,5 м; высота сечения изменялась в пределах от 1/14 до 1/26; коэффициент армирования от 0,015 до 0,035, расположение арматуры осуществлялось обычным способом. Армирование балок производилось арматурой класса АIII. Сорт древесины менялся в зависимости от числа основных видов ослаблений – сучков и зубчатых соединений: в неармированных конструкциях был принят 2-й сорт древесины, а в армированных – 3-й сорт.

Экспериментальные исследования работы армированных деревянных прогонов пролетом 6,0 м с применением древесины 3-го сорта. Высота сечения 150 мм, ширина сечения 50 мм, симметричное армирование осуществлялось стержнями 2Ø14 мм АIII, при $\mu = 0,027$. Испытания прогонов проводились в летнее время при температуре воздуха 22 – 24 °С. В процессе испытаний все прогоны доводились до разрушения.

Результаты экспериментальных исследований (рис. 4 – 7) армированных конструкций показали, что армирование позволяет повысить их прочность и надежность даже при применении низкосортной и клееной на зубчатый шип древесины, причем без увеличения поперечного сечения и снижения расчетных нагрузок. А при сравнении армированных конструкций из древесины 3-го сорта с неармированными из древесины более высокого качества (1-го и 2-го сорта) показатели прочности и деформативности не снижаются, а в некоторых случаях повышаются за счет поддерживающего влияния арматуры и увеличения коэффициента армирования на 10 – 30 %. Армирование компенсирует

влияние ослаблений (сучков и зубчатых соединений) поперечного сечения на прочность и деформативность конструкций как цельнодеревянного сечения (прогонов и ребер плит покрытия), так и клееных (несущие конструкции – балки).

Таким образом, результаты испытаний показали, что влияние ослаблений естественного происхождения (сучков) и технологических ослаблений (зубчатых шипов) при применении армирования в несущих и ограждающих конструкциях заметно снижается, сокращается расход древесины за счет уменьшения поперечного сечения, причем без снижения расчетных нагрузок конструкций.

С целью экспериментального подтверждения результатов выполненных исследований о независимости прочности армированных деревянных балок, от сорта древесины при повышении значения коэффициента армирования (μ) проведены испытания двух серий балок: 1-я серия – армированные балки из древесины 2-го сорта, пролет $l = 2,25$ м, высота сечения $h = 130$ мм, ширина сечения $b = 38$ мм, коэффициент армирования $\mu = 0,021$, 2-я серия – армированные балки из древесины 3-го сорта, коэффициент армирования $\mu = 0,032$. Характеристики сечения и пролет такие же, как и в 1-й серии.

При полученных результатах эксперимента о независимости прочности армированных деревянных балок от сорта древесины возникла необходимость по выборочным средним (значениям разрушающей нагрузки) в каждой серии определить соотношение соответствующих величин (разрушающих нагрузок) генеральных совокупностей. То есть необходимо было доказать статистическую значимость полученных результатов эксперимента. Однако перед этим необходимо было проверить нулевую гипотезу о равенстве (однородности) выборочных дисперсий: $S_1^2 = 3,31 \text{ кН}^2$, $S_2^2 = 2,59 \text{ кН}^2$.

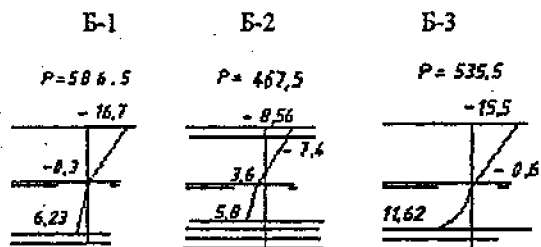


Рис. 4. Эпюры нормальных напряжений в армированных балках, с искусственно созданным ослаблением по результатам эксперимента

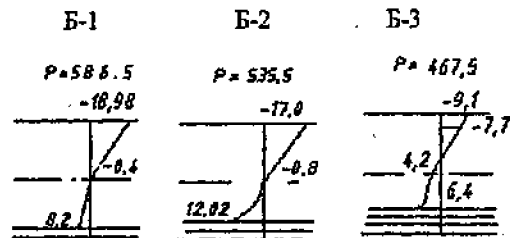


Рис. 5. Эпюры нормальных напряжений в армированных балках, с искусственно созданным ослаблением по данным программного комплекса «COSMOS»

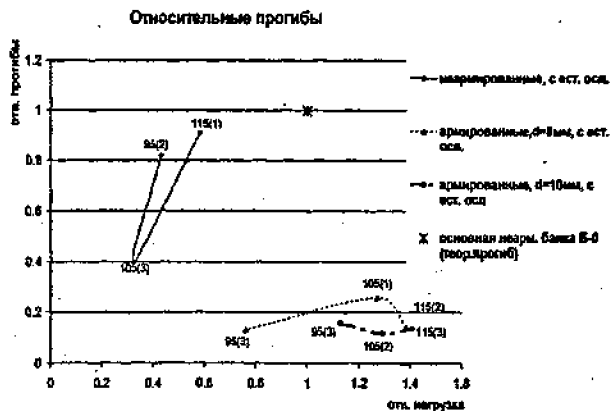


Рис. 6. Зависимость прогибов от нагрузки в относительных величинах (I часть)

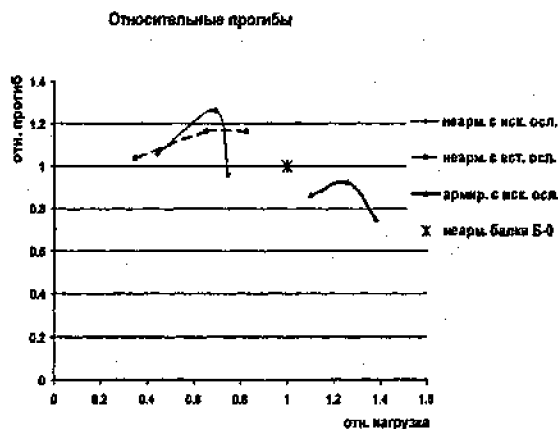


Рис. 7. Зависимость прогибов от нагрузки в относительных величинах (II часть)

А также подтвердить, что две выборки принадлежат генеральным совокупностям с равными теоретическими дисперсиями, т.е. $\sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \sigma^2$, при альтернативной гипотезе $\sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$.

Далее необходимо было проверить нулевую гипотезу средних значений этих совокупностей, т.е. $\bar{N}_{p1} = \bar{N}_{p2} = \bar{N}_p$, где \bar{N}_p – разрушающая нагрузка.

При альтернативной гипотезе $\bar{N}_{p1} \neq \bar{N}_{p2}$.

Таким образом, по результатам вычислений была статистически обоснована независимость результатов разрушающей нагрузки от сорта древесины при повышении процента армирования.

Четвертая глава посвящена оценке технико-экономической эффективности армированных деревянных балок из древесины 3-го сорта с неармированными балками из древесины 2-го сорта. Сравнение показателей производилось для конструкций пролетом 18,0 м, рассчитанных на нагрузку 1800 кг/м. Габариты балок задавались согласно расчету по предельным состояниям: сечение неармированной балки из древесины 2-го сорта – 1320 x 220 мм; сечение армированной балки – 1023 x 170 мм, с арматурой 6Ø36 АIII.

В целом применение армированных деревянных балок из древесины 3-го сорта сокращает приведенные затраты на 18 %; трудозатраты на изготовление клееных деревянных балок с армированием в сравнении с неармированными балками сокращаются на 15 %, расход клееной древесины – на 43 % (за счет уменьшения габаритов сечения, причем в армированных балках используется более дешевая древесина 3-го сорта); стоимость армированных деревянных конструкций (в относительных величинах) на 19 % ниже неармированных.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Ослабления поперечного сечения значительно снижают прочность и деформативность деревянных конструкций. Армирование компенсирует

влияние ослаблений, при этом в конструкциях повышается прочность и надежность против обрушения по сравнению с неармированными.

2. Равнопрочность армированных конструкций с ослабленными сечениями достигается за счет увеличения коэффициента армирования на 10 – 30 % по сравнению с армированными конструкциями без ослаблений.

3. В армированных цельнодеревянных конструкциях возможно применение древесины 3-го сорта вместо 2-го сорта при равной прочности и надежности.

4. Статистически обоснованы результаты экспериментальных исследований о независимости значений разрушающей нагрузки армированных деревянных конструкций от сорта древесины за счет увеличения коэффициента армирования.

5. В армированных деревянных балках с ослаблением в растянутой зоне (в месте ослабления) наблюдается значительная концентрация напряжений. Коэффициент концентрации напряжений составляет 1,1 – 1,3, что необходимо учитывать при проектировании.

6. Деформативность в армированных балках на 15 – 20 % ниже, чем в неармированных. При разрушении армированных балок с ослабленным сечением обрушения не происходит за счет поддерживающего влияния арматуры в растянутой зоне и надежного соединения арматуры с древесиной, которое обеспечивает клеевой шов вплоть до разрушения по древесине. Коэффициент запаса прочности армированных деревянных конструкций изменяется от 3,00 до 5,07.

7. Метод расчета армированных деревянных балок с учетом ослаблений при сравнении полученных результатов с результатами экспериментального исследования показал, что разница достигает 14 – 16 %, а при расчете с использованием программного комплекса «COSMOS/M» – 5 – 7 %.

8. Техничко-экономический анализ деревянных армированных и неармированных балок показывает достаточно высокую эффективность

армированных балок из древесины 3-го сорта: приведенные затраты сокращаются на 18 % по сравнению с неармированными балками из древесины 2-го сорта; расход древесины сокращается на 43 %, причем в армированной конструкции применяется более дешевая древесина 3-го сорта; трудоемкость изготовления уменьшается на 15 %.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Христофорова, Т. Н. О влиянии ослаблений на несущую способность армированных деревянных балок / Т. Н. Христофорова // Итоги строительной науки : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / Влад. гос. ун-т. – Владимир, 2003. – С. 212 – 218.

2. Христофорова, Т. Н. О влиянии ослаблений на прочность и деформативность армированных деревянных балок / В. Ю. Щуко, Т. Н. Христофорова // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов : сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. / МарГТУ. – Йошкар-Ола, 2004. – Ч. 2. С. 177 – 180.

3. Христофорова, Т. Н. Результаты испытаний армированных конструкций с ослабленными сечениями / Т.Н. Христофорова, В.Ю. Щуко // Итоги строительной науки : тез. докл. IV междунар. науч.-техн. конф. / Влад. гос. ун-т. – Владимир, 2005. – С. 43 – 47.

4. Христофорова, Т.Н. Методика испытаний армированных деревянных балок с ослабленным сечением / Т.Н. Христофорова, В.Ю. Щуко // Итоги строительной науки : тез. докл. IV междунар. науч.-техн. конф. / Влад. гос. ун-т. – Владимир, 2005. – С. 47 – 50.

5. Христофорова, Т. Н. Результаты экспериментальных исследований армированных конструкций с ослабленным сечением / Т.Н. Христофорова, В.Ю. Щуко, С.И. Рощина // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции НАСКР – 2005 : тез. докл. V всерос. конф. / Чуваш. гос. ун-т. – Чебоксары, 2005. – С.65 – 70.

6. Христофорова, Т. Н. О результатах экспериментальных исследований армированных конструкций с ослабленными сечениями, в зоне чистого изгиба / Т.Н. Христофорова, В.Ю. Шуко, С.И. Рощина // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. науч. трудов / Одесская гос. академия строительства и архитектуры – Одесса, 2006. – С. 257 – 262.

7. Христофорова, Т. Н. Армирование - эффективный способ усиления деревянных конструкций / Т.Н. Христофорова, В.Ю. Шуко, С.И. Рощина // Эффективные строительные конструкции : теория и практика : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / Пенз. гос. ун-т архитектуры и строительства – Пенза, 2006. – С. 140 – 144.

8. Христофорова, Т. Н. Экспериментальные исследования армированных балок, с ослабленным сечением, в зоне чистого изгиба / Т.Н. Христофорова // Эффективные строительные конструкции: теория и практика : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / Пенз. гос. ун-т архитектуры и строительства – Пенза, 2006. – С. 144 – 149.

9*. Христофорова, Т. Н. Экспериментальные исследования армированных деревянных балок, с ослабленным сечением, в зоне чистого изгиба / Т.Н. Христофорова // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 11. – С. 70.

10*. Христофорова, Т. Н. Экспериментальные исследования армированных конструкций, с ослабленным сечением, в зоне чистого изгиба / Т.Н. Христофорова, С.И. Рощина // Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура. – 2006. – вып. 4. - С. 82-86.

* - из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертационной работы.

Подписано в печать 22.11.06.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,42. Тираж 100 экз.

Заказ *265-2006н*

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.