

На правах рукописи



ЛУКИН
Михаил Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ БАЛОК**

Специальность 05.21.05 – Дреvesиноведение, технология и
оборудование деревопереработки

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Архангельск
2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,
Рощина Светлана Ивановна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Лабудин Борис Васильевич

канд. технических наук, доцент,
Коноплев Сергей Петрович

Ведущая организация: - ООО «АРХГИПРОДРЕВ»,
163061, г. Архангельск,
пр. Троицкий, 106

Защита состоится «22» декабря 2010 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.008.01 при ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет» по адресу: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, главный корпус, ауд. 1228.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке С(А)ФУ.

Просим Ваши отзывы на автореферат с заверенными подписями направлять в двух экземплярах по адресу: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет», ученому секретарю диссертационного Совета Д 212.008.01.

Тел./факс (8182) 28-75-67

Автореферат разослан «11» ноября 2010 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент



Земцовский А.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Древесина обладает целым рядом ценных физико-механических и эксплуатационных свойств, которые позволяют широко использовать ее в различных отраслях деревообрабатывающей промышленности, строительстве, транспорте, энергетике и др. Одной из важнейших проблем современного общества является повышение эффективности использования древесины за счет применения конструкций и изделий с малой материалоемкостью и высокими эксплуатационными параметрами.

Одним из направлений является создание композиционных конструкций на основе древесины, металла и полимеров, что позволяет повысить качество и конкурентоспособность деревоклееных конструкций (ДКК), снизить материалоемкость и повысить экологичность производства. Решение этих задач основано на разработке новых деревоклееных конструкций и совершенствовании имеющихся технологий современного производства. Поэтому проведение исследований в этом направлении и разработка практических рекомендаций по технологии изготовления армированных деревянных конструкций (АДК) является актуальной задачей.

Цель и задачи исследований - совершенствование деревоклееных композитных конструкций и технологии их производства путем научно обоснованного обеспечения прочностных, жесткостных и эксплуатационных характеристик.

Для достижения поставленной цели определены задачи:

1. Провести системный анализ в контексте проблемы повышения эффективности использования древесины в композитных деревоклееных конструкциях.
2. Разработать технические и технологические решения несущих деревоклееных конструкций с использованием арматуры и полимерных клеев.
3. Провести теоретические исследования работы деревоклееных конструкций и влияния характера армирования на напряженно-деформированное состояние (НДС) с учетом анизотропии, эффектов разномодульности и нелинейного деформирования древесины.
4. Выполнить экспериментальные исследования и дать оценку несущей способности и деформативности композитных деревоклееных балок.
5. Усовершенствовать технологию производства несущих композитных балок.
6. Разработать рекомендации по совершенствованию технологических процессов производства ДКК, направленные на снижение материалоемкости и повышение экономической эффективности.

Научная новизна результатов исследований:

- предложена конструкция деревоклееных композитных балок с качественно новыми прочностными характеристиками;
- определены области практического использования разработанных АДК;
- усовершенствована технология производства деревоклееных балок с элементами армирования;
- экспериментально установлены количественные характеристики прочности и деформативности АДК;
- проведены численные исследования работы древесины как композиционного материала с учетом работы под нагрузкой, разномодульности и нелинейного сопротивления;
- выявлено влияние вариантов армирования на напряженно-деформированное состояние АДК.

На защиту выносятся:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований АДК;
- технические решения по повышению эффективности использования деревоклееных композитных балок;
- рекомендации по совершенствованию технологии производства деревоклееных армированных конструкций;
- результаты исследований по установлению количественной оценки прочности и деформативности композитных балок.

Практическая ценность работы.

Результаты работы расширяют область применения ДК, повышают эффективность применения деревоклееных конструкций, в том числе армированных.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием принятых в технической механике гипотез и допущений; современными средствами научного исследования с применением сертифицированных приборов и средств анализа; надёжной методикой проведения численных экспериментов с использованием стандартных программ, приемлемой сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований.

Реализация результатов работы.

Результаты исследований использованы при разработке совместно с ГУ «Промстройпроект» альбома рабочих чертежей «Композитные балки междуэтажных перекрытий пролетом 4,5 м», в ТУ на изготовление балок, в учебном процессе при курсовом и дипломном проектировании, внедрены при замене междуэтажных перекрытий реконструируемого деревянного жилого дома в г. Владимир.

Апробация работы.

Основные положения работы и результаты исследований доложены на Международном симпозиуме «Современные строительные конструкции из дерева и пластмасс» (г. Одесса, 2008 и 2010 г); Научной конфе-

ренции «66-ая и 67-ая научные конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета» (г. Санкт – Петербург, 2009 и 2010 г); Международном симпозиуме «Современные металлические и деревянные конструкции (нормирование, проектирование и строительство)» (г. Брест, 2009 г); V международной научно-технической конференции «Итоги строительной науки» (г. Владимир, 2007 г.); Международная техническая конференция «ИНТЕР-СТРОЙМЕХ 2008» (г. Владимир, 2008 г); Международной научно-технической конференции «Строительная наука-2010: теория, практика, инновации северо-арктическому региону» (г. Архангельск, 2010г).

Публикации. По результатам научных исследований опубликовано 18 печатных работ, в том числе две в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, библиографического списка включающего 135 наименований. Изложена на 172 страницах и содержит 80 рисунков, 5 таблиц, приложение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** отражены актуальность проблемы повышения эффективности использования деревоклееных конструкций, сформулированы цели и задачи исследования.

В **первой главе** рассмотрен анализ современного состояния и перспективы развития композитных ДКК на основе древесины, металла и полимерных клеев, намечены основные пути повышения эффективности их применения.

В разное время проблемами определения прочности, долговечности и устойчивости деревянных конструкций, оценки технических возможностей древесины при их производстве, повышением эффективности использования ресурсов древесины в нашей стране занимались Арленинов Д.К., Ашкенази Е.К., Белянкин Ф.Ф., Глухих В.Н., Знаменский Е.М., Иванов Ю.И., Инжутов И.М., Карлсен Г.Г., Ковальчук Л.М., Лабудин Б.В., Левинский Ю.Б., Леонтьев Н.Л., Мелехов В.И., Митинский А.Н., Михайлов Б.К., Онегин В.И., Пластинин С.Н., Савков В.И., Светозарова Е.И., Серов Е.Н., Травуш В.И., Турушев В.Г., Уголев Б.Н., Фурсов В.В., Хрулев В.М. , за рубежом - Gatz K.H., Kollmann F., Lederer F., Lyon D.E., Mielczarek Z. и др.

В работе представлен анализ развития композитных конструкций на основе древесины. Разработка композитных конструкций шла по двум основным направлениям: развитие производства деревоклеенных конструкций (ДКК) и армированных деревянных конструкций (АДК).

Исследованиями процессов механической обработки и склеивания древесины, качества соединений клееных деревянных конструкций занимались известные ученые: Аксенов П.П., Баженов В.А., Боровиков А.М.,

Губенко А.Б., Исаев С.П., Копейкин А.М., Куликов В.А., Михайлов В.Н., Огурцов В.В., Фрейдин А.С. и др.

Армированные деревянные конструкции нашли широкое применение в строительстве. Высокая прочность, жесткость армированных деревянных конструкций при малой монтажной массе и положительный опыт их применения в Швеции, США и Чехословакии привлекли внимание проектировщиков разных стран. В течение ряда лет проводятся всесторонние исследования АДК, разрабатываются и внедряются их новые виды. Вопросами повышения эффективности деревянных конструкций путем армирования, оценки их качественных и прочностных характеристик занимались Бондин В.Ф., Иванов Ю.М., Клименко В.З., Линьков И.М., Мажара П.И., Найчук А.Я., Орлович Р.Б., Погорельцев А.А., Попов В.Д., Репин В.А., Рощина С.И., Серов Е.Н., Смирнов Е.А., Соротокин В.М., Стоянов В.В., Турковский С.Б., Хлебной Я.Ф., Щуко В.Ю. и др.

Так как производство композитных конструкций позволяет рационально использовать древесину, снижая себестоимость продукции и способствуя рациональному расходованию древесных ресурсов, то повышение эффективности их использования армированием является актуальной проблемой исследований.

Во **второй главе** приведены результаты системного анализа современных деревоклееных конструкций, а также вопросы теоретических расчетов прочности и деформативности композитных балок для деревянного домостроения.

Исследования проведены на 4-х вариантах композитных балок, для сравнения полученных показателей исследования производились также и на цельной деревянной балке, которая служила эталоном (рис.1).

Основными элементами деревоклееной композитной балки являются древесина, стальной прокат в виде швеллера и арматурных стержней. Сечение исследуемых балок составляет 100х240 мм. Швеллер устанавливается, либо в верхней (сжатой), либо в нижней (растянутой) зоне балки, номер проката выбирается по ширине сечения балки (№12). Крепление швеллера к телу балки выполняется при помощи наклонно клеенных арматурных стержней класса А-400 периодического профиля диаметром 10 мм. Расположение их принимается по главным растягивающим, либо сжимающим напряжениям под углом 45° с шагом 300 мм по длине балки.

В настоящее время существующие методы расчета конструкций позволяют с достаточной точностью оценивать их несущую способность и деформативность на любой стадии работы. С точки зрения проектирования прикладным является инженерный метод расчета армированных деревянных конструкций по приведенным геометрическим характеристикам. Этот метод с достаточной точностью позволяет оценивать их несущую способность и деформативность в упругой стадии работы, опираясь на действующие нормы проектирования деревянных конструкций.

При проведении расчета определяли несущую способность и деформативность композитных балок, подбор диаметра, угла наклона и шага расположения арматурных стержней.



Рис.1. Варианты композитных балок перекрытия

На начальном этапе расчета определены приведенные геометрические характеристики сечения деревоклееной композитной балки, необходимые для расчета конструкции инженерным методом. Это - площадь приведенного сечения:

$$F_{np} = b \cdot h \cdot (1 + \mu \cdot n); \quad (1)$$

- статический момент инерции:

$$S_{np} = b \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2} + \mu \cdot n \cdot \left(1 - \frac{z_0 - d}{h} \right) \right); \quad (2)$$

- момент инерции:

$$I_{np} = \frac{b}{3} \cdot (y_c^3 + h_c^3) + I_{me} + b \cdot h \cdot \mu \cdot n \cdot (h_c + d - z_0)^2; \quad (3)$$

- момент сопротивления соответственно для сжатой и растянутой зон:

$$W_{np}^c = \frac{I_{np}}{h_c}; \quad (4)$$

$$W_{np}^p = \frac{I_{np}}{y_c}; \quad (5)$$

где $F_{op} = b \cdot h$ - площадь древесины;

$\mu = \frac{F_{me}}{F_{op}} = \frac{F_{me}}{b \cdot h}$ - коэффициент армирования;

$n = \frac{E_{me}}{E_{op}}$ - коэффициент приведения;

d - толщина стенки швеллера;

h - высота сечения;

$h_c = h_0 - y_c$ - высота сжатой зоны сечения

$$y_c = \frac{h_0 \cdot \left(\frac{1}{2} + \mu \cdot n \cdot \left(1 - \frac{z_0 - d}{h} \right) \right)}{(1 + \mu \cdot n)} - \text{положение центра тяжести сечения.}$$

Расчет произведен по двум группам предельных состояний по известным формулам сопротивления материалов с введением в них коэффициентов k_w и $k_{жс}$ полученных экспериментально.

Расчет по первой группе предельных состояний на действие максимального изгибающего момента выполнен для опасных сечений, которые находятся в середине пролета балки.

Изгибающий момент для балки на двух опорах при загрузении ее равномерно распределенной нагрузкой определяется по известным формулам строительной механики с учетом граничных условий.

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

$$\sigma_p = \frac{M}{W_{np}^p \cdot k_w} \leq R_p, \quad (6)$$

где k_w – коэффициент, полученный экспериментально и принятый равным 0,65.

Максимальные нормальные напряжения в древесине сжатой зоне не должны превышать расчетного сопротивления древесины на сжатие:

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{np}^c} \leq R_c. \quad (7)$$

Максимальные нормальные напряжения в швеллере не должны превышать расчетного сопротивления стали на изгиб:

$$\sigma_s = \frac{M}{W_{np}^c \cdot k_w} \cdot n \cdot k_t \leq R_s, \quad (8)$$

$$\text{где } k_t = 1 + 0.67 \cdot \frac{q_t}{q}. \quad (9)$$

Расчет на устойчивость плоской формы деформирования выполнен на действие максимального изгибающего момента:

$$\sigma_u = \frac{M}{\varphi_m \cdot W_{np} \cdot k_w}; \quad (10)$$

$$\text{где } \varphi_m = 140 \cdot \frac{b^2}{l_p \cdot h} \cdot k_\phi.$$

Расчет по первой группе предельных состояний на действие максимальной поперечной силы выполнен для опасных сечений на опоре.

Поперечная сила для балки на двух опорах при загрузке ее равномерно распределенной нагрузкой также определяется по формулам строительной механики. Максимальные касательные напряжения в древесине относительно нейтральной оси не должны превышать расчетного сопротивления на скалывание:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{np}}{I_{np} \cdot b} \leq R_{ск} \quad (11)$$

Максимальные касательные напряжения в поперечном сечении балки относительно линии проходящей в зоне сопряжения швеллера с древесиной не должны превышать расчетного сопротивления на скалывание:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{omc}}{I_{np} \cdot b} \cdot k_t \leq R_{ск} \quad (12)$$

где, $S_{omc} = F_{me} \cdot (h_c + d - z_0) = b \cdot h \cdot \mu \cdot n \cdot (h_c + d - z_0)$ - статический момент сопротивления отсеченной части относительно линии, проходящей в зоне сопряжения швеллера с древесиной.

Для второй группы предельных состояний определяли максимальный прогиб и сравнивали его с предельным.

На начальном этапе вычислялся прогиб балки пролетом l постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига на действие равномерной нормативной нагрузки Q_n . Он равен:

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_n \cdot l^4}{E \cdot I_{np} \cdot k_{жс}} \cdot k_t \quad (13)$$

Наибольшее перемещение в середине пролета балки не должно превышать предельно допустимого прогиба:

$$f = \frac{f_0}{k} \cdot \left(1 + c \cdot \left(\frac{h_0}{l} \right)^2 \right) \leq f_{np} = \frac{l}{200}, \quad (14)$$

где $k = l$ - коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения; c - коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы; $k_{жс}$ - коэффициент выведенный экспериментально и принятый равным 0,85.

Расчетом выполнен подбор диаметра, шага и количества стержней.

Количество стержней необходимых для восприятия сдвигающих усилий определено по формуле:

$$n = 1.5 \cdot \frac{M_{max} \cdot S_{omc}}{I \cdot T_{ск,\alpha}}, \quad (15)$$

где $T_{ск,\alpha} = R_{ск} \cdot \pi \cdot [d + 0.5] \cdot l \cdot k_c$ - расчетная несущая способность

стержня на выдергивание или продавливание; $k_c = 1.2 - 0.02 \cdot \frac{l}{d}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига в зависимости от длины заделываемой части стержня; d - номинальный диаметр вклеиваемого стержня, м (см); l - длина заделываемой части стержня, м (см).

По результатам обработки результатов теоретических расчетов построены графики, приведенные на рис.2 и 3, из которых видно, что наиболее эффективным углом внедрения наклонных стержней является диапазон 30...45°.

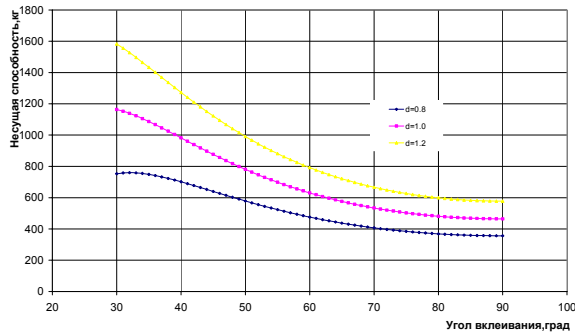


Рис.2. Зависимость несущей способности стержня от угла вклеивания

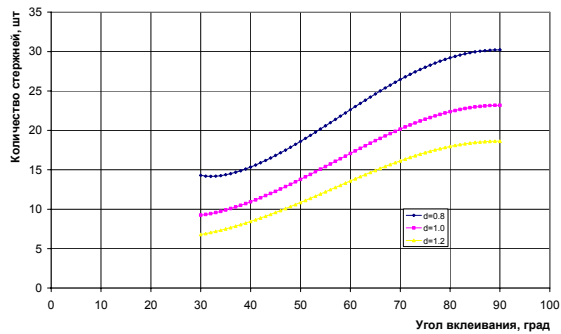


Рис.3. Зависимость количества стержней с одной стороны балки от угла вклеивания

Анализируя график (рис.2) можно сделать выводы о том, что: с увеличением угла вклеивания несущая способность стержня уменьшается; при одном и том же угле вклеивания несущая способность выше у стержней с наибольшим диаметром. Из графика (рис.3) следует: с увеличением угла вклеивания количество стержней увеличивается; чем меньше диаметр стержней, тем большее их количество необходимо установить в конструкции.

Вместе с тем, расчет композитных конструкций и элементов как правило ведется лишь в предположении упругой работы материалов, что не соответствует действительной работе элементов за пределом упругости и не выявляет действительной несущей способности, деформативности и живучести древесины при запредельных нагрузках.

При нагружении композитных конструкций внешней нагрузкой до разрушения отчетливо проявляются три характерные и последовательные стадии напряженно-деформированного состояния: условно-упругая, упруго - пластическая и разрушения. В общем виде, для армированного деревянного элемента при увеличении нагрузки переход от стадии к стадии приведен на рис.4.

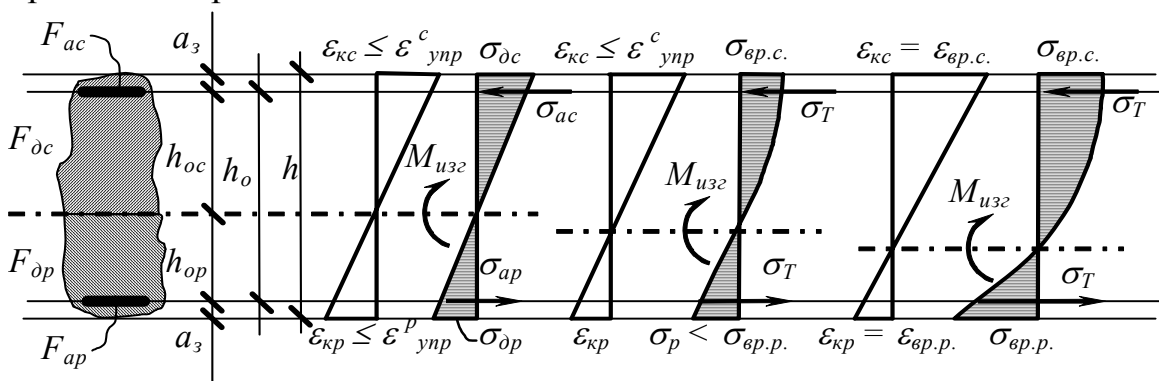


Рис. 4. Стадии напряженно-деформированного состояния армированного элемента при изгибе:
а) условно – упругая; б) упруго – пластическая; в) стадия разрушения

Действительные диаграммы работы древесины по Белянкину – Прагеру на сжатие и растяжение имеют криволинейный вид и приведены на рис.5.

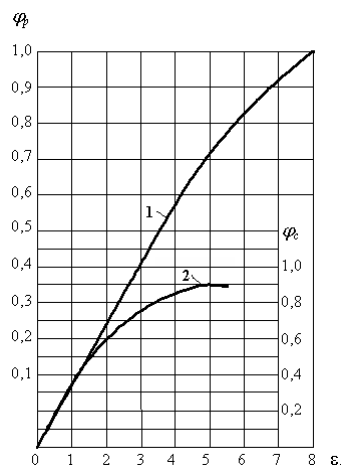


Рис.5. Приведенные диаграммы работы древесины (сосна):
1 – при растяжении, 2 – при сжатии

С учетом этих графиков в диссертации выполнен детальный анализ напряженно деформированного состояния конструкций на всех стадиях работы с использованием метода конечных элементов в программном комплексе Lira 9.2.

Расчет произведен с учетом действительной работы в статической постановке с учетом разномодульности и нелинейности древесины. Работа древесины описывалась диаграммами, построенными на основании экспериментальных исследований стандартных образцов на сжатие и растяжение. Расчетная схема балки – балка на двух опорах, загруженная равномерно распределенной нагрузкой. По результатам исследований построены диаграммы напряжений и деформаций конструкции в зависимости от действующей нагрузки (см. рис.6...13).

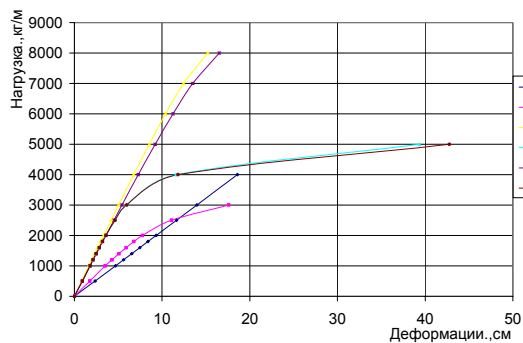


Рис.6. Диаграмма нагрузка – прогибы

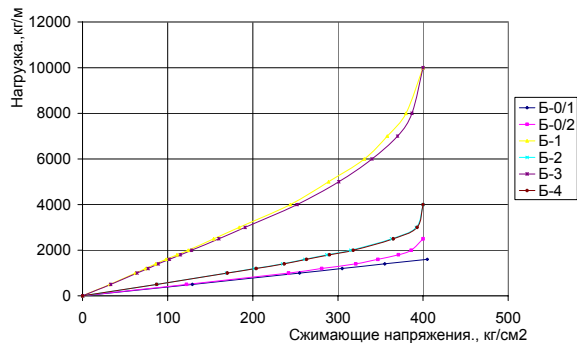


Рис.7. Диаграмма нагрузка – сжимающие напряжения в древесине

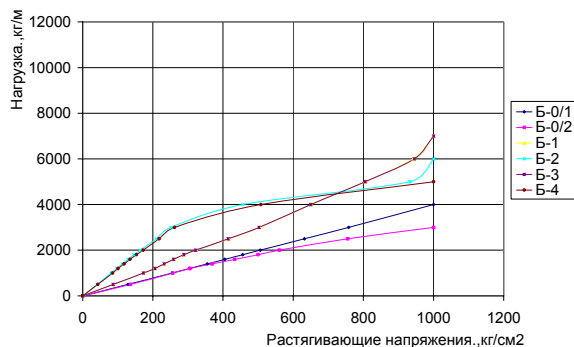


Рис.8. Диаграмма нагрузка – растягивающие напряжения в древесине

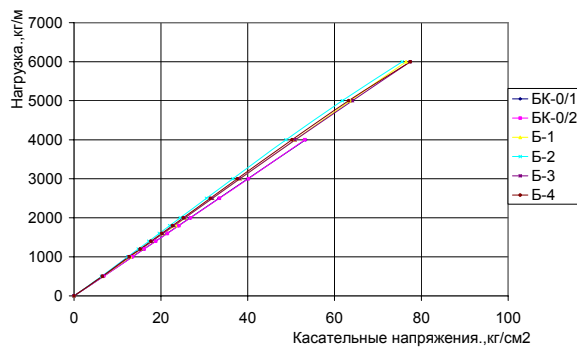


Рис.9. Диаграмма нагрузка – касательные напряжения в древесине

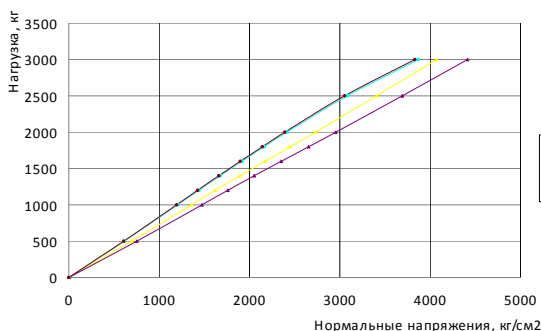


Рис.10. Диаграмма нагрузка – нормальные напряжения в швеллере

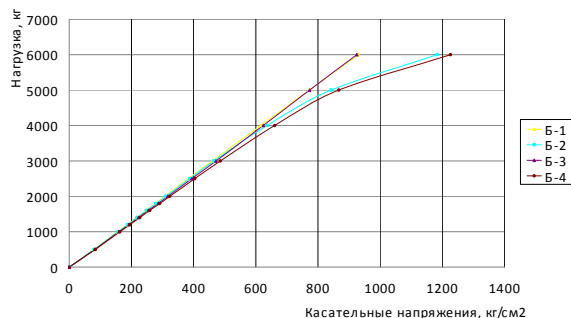


Рис.11. Диаграмма нагрузка – касательные напряжения в швеллере

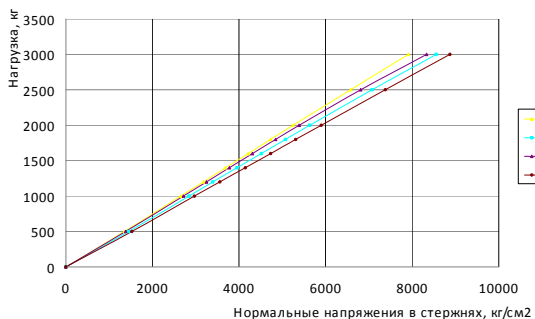


Рис.12. Диаграмма нагрузка – напряжения в стержнях

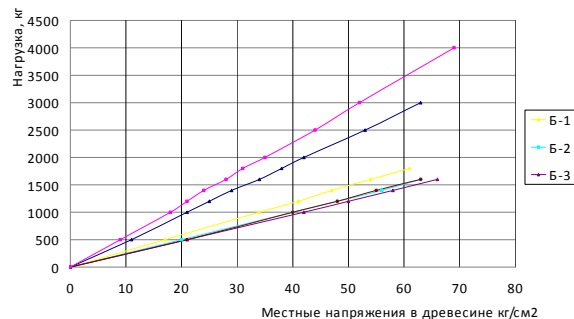


Рис.13. Диаграмма нагрузка – местное смятие в древесине

Так как в расчеты численным методом вводятся графики действительной работы древесины, учитывающие нелинейность, разномодульность, анизотропию и ползучесть древесины, то точность полученных результатов значительно выше, чем результатов инженерного метода расчета.

В третьей главе приведена методика испытания деревоклееных композитных балок и планирование экспериментального исследования.

Программа испытаний позволила: получить картину напряженно-деформированного состояния конструкций при действии распределенных нагрузок; подтвердить достоверность теоретических исследований по предлагаемой методике расчета сравнением результатов эксперимента и

расчета натуральных конструкций; определить несущую способность конструкций и получить характер их разрушения; выполнить анализ прочности и деформативности конструкций в зависимости от характера размещения арматуры в ДКК.

В результате планирования эксперимента определено оптимальное количество испытываемых конструкций и образцов для установления статистических характеристик материала моделей.

Известными методами исследования напряженно-деформированного состояния конструкций являются: метод тензометрии, метод фотоупругости, метод муаровых полос и метод голографической интерферометрии.

Последние три метода позволяют в наглядной форме получить из эксперимента общую картину деформирования элемента. Соответствующая обработка ее с привлечением уравнений теории упругости позволяет исследовать напряжения и деформации с необходимой детализацией в отдельных областях элемента.

Для проведения экспериментальных исследований балок выбран метод тензометрии, который позволяет составить количественную картину перемещений и напряжений. Качественная картина распределения напряжений получена в МКЭ.

Испытанию подвергались натурные конструкции, что давало возможность сохранить все физические явления, происходящие в ней при нагружении. Следовательно, на основании результатов исследования можно получить необходимые знания о характере разрушения, прочности и деформативности реальных композитных деревоклееных балок.

Экспериментальные исследования конструкций пролетом 4,5 м проводились на испытательном стенде (рис.14).

Изучение работы балок выполнялось в два этапа.

На первом этапе определялся интегральный модуль упругости деревянной балки, который в отличие от расчетного модуля упругости учитывает неоднородность древесины, пороки и т.д., на этом этапе выполнена подборка заготовок деревянных балок, металлических и арматурных деталей по сходным показателям.

На втором этапе исследовалось напряженно-деформированное состояние композитных балок, определялся характер разрушения в зависимости от конструктивных параметров и влияние характера размещения арматуры в балках на прочность и деформативность конструкций.

Для изучения напряженно-деформированного состояния балок пролетом 4,5м 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. Степень нагружения назначена равной 0,1 расчетной нагрузки.

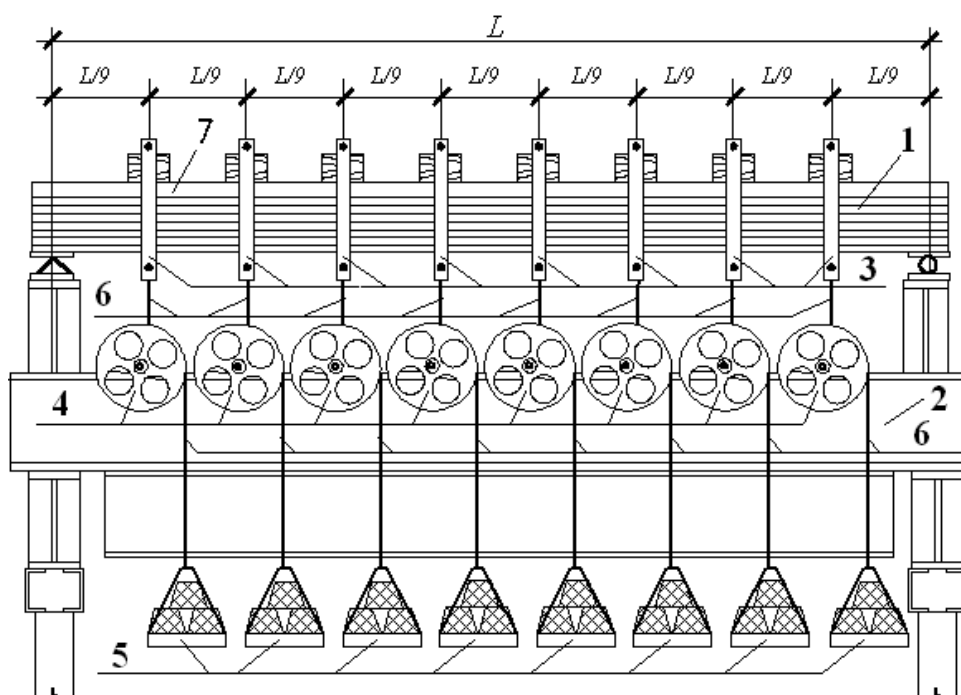


Рис.14. Схема экспериментальной установки для испытания балок пролетом 4,5 м:
 1 – деревоклеенная композитная балка; 2 – реактивная балка I №45+I №30Б1;
 3 – хомуты с деревянными подкладками; 4 – передаточный вал-катушка;
 5 – корзины с грузом; 6 – тросики; 7 – швеллер №12

Вертикальные перемещения всех исследуемых балок измерялись прогибомерами ПАО–6, осадка опор индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Деформации волокон древесины и арматуры в середине пролета измерялись при помощи тензодатчиков системы Гугенбергера с ценой деления 0,001 мм и базой 20 мм. В зоне действия максимального изгибающего момента, опорных сечениях и местах концентрации напряжений по ширине сечения наклеивались тензорезисторы с базой 20 мм, информация с которых обрабатывалась на цифровом тензодатчикном комплексе СИИТ–3М.

В процессе исследований контролировались температура помещения, влажность древесины, физико-механические свойства конструктивных материалов (древесина, металл, композит) в соответствии с требованиями действующих ГОСТов.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований деревоклеенных композитных балок при кратковременном действии нагрузки. Эксперименты проводились в лаборатории кафедры строительных конструкций ВлГУ. Испытано 3 цельнодеревянных (контрольных) и 12 композитных балок пролетом 4,5м. Расчетная погонная нагрузка определялась из условия прочности нормальных сечений и составила 1520 кг/м – для деревянных балок, и 2380 кг/м для деревоклеенных композитных балок (табл. 1, 2).

Маркировка балок: Б-0 – неармированная балка; Б-1 – композитная балка, армированная сверху (расположение арматуры по главным сжимающим напряжениям); Б-2 – композитная балка, армированная снизу

(расположение арматуры по главным растягивающим напряжениям); Б-3 - композитная балка, армированная сверху (расположение арматуры по главным растягивающим напряжениям); Б-4 – композитная балка, армированная снизу (расположение арматуры по главным сжимающим напряжениям).

Разрушение балок серии Б-0 произошло при нагрузке в среднем 1480 кг/м, что отличается от теоретического значения разрушающей нагрузки на 3%, и начиналось в растянутой зоне в месте расположения порока в виде сучка. После чего, сжатые волокна древесины теряли устойчивость с образованием пластической складки. В опорной зоне балок никаких деформаций отмечено не было.

Разрушение балок серии Б-1 и Б-3 происходило при нагрузке 2500 кг/м и 2600 кг/м, соответственно, вследствие разрушения растянутых волокон в также зоне расположения порока в виде сучка.

Разрушение балок серии Б-2 и Б-4 происходило при нагрузке 2200 кг/м и 2300 кг/м из-за потери устойчивости сжатых волокон с образованием пластической складки.

Результаты испытания композитных балок приведены в таблице 1. Сравнительный анализ исследований приведен в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что расхождения теоретических расчетов с экспериментальными данными составляет: по несущей способности – 11...15%, по деформативности – 14...17%. Разница же численного и экспериментального исследования составила 3...6% и 4...6% соответственно.

В пятой главе рассмотрены вопросы технологии производства древоклееных композитных балок и совершенствования технологических процессов.

В процессе изготовления композитных АДК достигается уменьшение строительной высоты сечений армированных конструкций на 20–30%, монтажной массы на 30–40%, чем у неармированных ДКК.

Технологический процесс может быть разделен на 5 стадий.

На **первой** стадии выполняется механическая обработка древесины, включающая: распиловку круглых сортиментов; сушку пиломатериалов до влажности древесины 10- 12%; фрезерование деревянных заготовок; разметку сечения с нанесением схемы армирования; после распиловки производится сверление отверстий в древесине. В деревянной заготовке, в местах расположения стержней по высоте должны быть предусмотрены боковые отверстия диаметром 3-5 мм для выдавливания избытка клея.

На **второй** стадии происходит изготовление армированных элементов из арматуры и проката. При изготовлении композитных балок наиболее трудоемкий процесс вклеивания арматуры, который включает: операции приготовления клеевой композиции для склеивания арматуры, укладку и запрессовку стержней арматуры, которые можно объединить.

Таблица 1

Результаты испытаний композитных балок пролетом 4,5 м

№ п/п	Серии балок	Сечение		Нагрузка Р, кг	Деформации $\varepsilon \times 10^{-4}$			Прогибы, мм	Разрушающая нагрузка, кг
		h, мм	b, мм		Древесина		Швеллер		
					сжат	раст			
1	Б-0-1	241,0	101,0	740	23,8	29,4	-	4,47	1480
2	Б-0-2	240,5	100,0	—”—	24,0	29,5	-	4,52	1500
3	Б-0-3	239,5	100,0	—”—	23,6	29,2	-	4,45	1460
4	Б-1-1	241,5	99,0	1190	14,5	30,1	13,93	6,88	2550
5	Б-1-2	240,0	100,0	—”—	15,0	30,3	14,0	6,92	2570
6	Б-1-3	240,5	99,5	—”—	14,9	30,2	13,92	6,90	2540
7	Б-2-1	239,0	100,0	—”—	26,3	11,9	11,99	7,09	2220
8	Б-2-2	240,0	98,5	—”—	26,5	12,1	12,06	7,22	2250
9	Б-2-3	241,0	100,0	—”—	26,7	12,3	12,1	7,25	2300
10	Б-3-1	238,0	98,0	—”—	14,4	30,5	14,1	6,95	2600
11	Б-3-2	240,0	99,5	—”—	14,0	29,8	14,01	6,90	2560
12	Б-3-3	240,0	100,0	—”—	14,3	30,4	14,05	6,93	2580
13	Б-4-1	240,5	99,0	—”—	26,9	12,3	12,48	7,0	2200
14	Б-4-2	241,0	98,5	—”—	26,7	12,1	12,45	6,98	2180
15	Б-4-3	239,0	100,0	—”—	27,1	12,3	12,55	7,02	2230

Таблица 2

Сравнение результатов исследования композитных балок перекрытия

Показатели	Нормальные напряжения, кг/см ²			Относительные деформации $\varepsilon \times 10^{-4}$			Прогибы, мм
	древесина		швеллер	древесина		швеллер	
	сжат	раст		сжат	раст		
Деревянная балка Б-0							
Теория	380	380	-	26,6	26,6	-	3,91
ПК Lira 9.2	324	401	-	22,8	28,1	-	4,30
Эксперимент	340	420	-	23,8	29,4	-	4,47
Композитная балка Б-1							
Теория	179	390	2721	17,9	28,0	12,95	6,06
ПК Lira 9.2	198	417	2836	13,9	29,2	13,5	6,51
Эксперимент	207	430	2925	14,5	30,1	13,93	6,88
Композитная балка Б-2							
Теория	339	152	2306	23,7	10,6	10,98	6,06
ПК Lira 9.2	355	162	2374	24,9	11,3	11,30	6,85
Эксперимент	375	170	2517	26,3	11,9	11,99	7,09
Композитная балка Б-3							
Теория	179	390	2721	12,5	28,0	12,96	6,06
ПК Lira 9.2	196	423	2878	13,7	29,6	13,7	6,60
Эксперимент	205	435	2960	14,4	30,5	14,1	6,95
Композитная балка Б-4							
Теория	339	152	2374	23,7	10,6	11,3	6,06
ПК Lira 9.2	372	170	2530	26,0	11,9	12,04	6,75
Эксперимент	385	175	2620	26,9	12,3	12,48	7,0

На **третьей** стадии выполняются работы, включающие: приготовление эпоксидно-песчаного компаунда; заполнение отверстий эпоксидным составом; погружение предварительно очищенных, обезжиренных и смазанных клеем стержней в каналы; контроль соединения арматуры с древесиной.

На **четвертой** стадии выполняются сварочные работы, целью которых является жесткое крепление отгибов арматурных стержней со стенкой швеллера. Швы выполняются сплошными, двухсторонними.

На **последней** стадии выполняется защита открытых металлических элементов противокоррозионными составами, деревянных элементов - комплексными составами огнебиозащиты.

Таким образом, совершенствование технологии процессов производства композитных балок может быть достигнуто путем оптимизации раскроя, повышения коэффициента загрузки оборудования, механизации ручных работ, снижения простоев оборудования, снижения потерь материалов и выполнения пооперационного контроля качества на всех стадиях производства АДК.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработаны научно обоснованные предложения по совершенствованию конструкций и технологии производства деревоклееных композиционных балок. В предложенной конструкции деревоклееных балок уменьшено поперечное сечение на 20–30%, монтажная масса на 30–40%.

2. Теоретически и экспериментально получены количественные оценки прочностных и деформационных показателей балок. Численный эксперимент выполнен с учетом действительной работы древесины с использованием диаграмм б-ε работы на сжатие - растяжение, полученной при испытаниях стандартных образцов, что позволило учесть в расчетах анизотропию, ползучесть и изменение модуля упругости древесины на этапах проектирования.

3. Скорректирована технология производства АДК, позволяющая получать конструкции при снижении производственных затрат. Совершенствование технологического процесса предусматривает совмещение отдельных видов работ и применения современного технологического оборудования. Эффективный угол клеивания арматурных стержней находится в пределах 30...45°.

4. Армирование композитных балок повышает их несущую способность на 47...66% и уменьшает деформативность на 54...62% по сравнению с деревянными. Это позволяет использовать их для повышенных нагрузок, расширяет область применения и сокращает расход древесины при производстве ДКК.

5. Получены экспериментальным путем коэффициенты $k_w=0,65$ и $k_{жс}=0,85$ имеют физическую ясность, позволяют повысить точность определения величин напряжений и перемещений в композитных конструкциях для инженерного расчета. Результаты рекомендованы для внесения в нормы проектирования ДК (СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования»).

6. В результате сравнительного анализа экспериментально-теоретических исследований установлено, что расхождение результатов инженерного метода расчета с экспериментальными данными составляет: по несущей способности – 11...15%, по деформативности – 14...17%. Различие «точного» численного расчета и экспериментальных результатов составило 3...6%.

7. Результаты работы использованы в ГУ «Промстройпроект» при подготовке технической документации (РЧ) «Композитные балки междуэтажных перекрытий пролетом 4,5 м», ТУ на производство композитных балок перекрытия. Предложенные композитные ДК установлены в перекрытиях при реконструкции деревянного жилого дома в г. Владимир.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

по перечню
ВАК

1. Лукин М.В. К вопросу повышения надежности несущих армированных деревянных конструкций [Текст] / М.В. Лукин, С.И. Рощина, В.А. Репин // Журнал «Деревообрабатывающая промышленность», 2008, №4, с. 58-59.
2. Лукин М.В. [Текст] / Повышение эффективности использования древесины в композитных балках [Текст] / М.В. Лукин / Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. — М. : МГУЛ, 2010. - № 5., с.148...152.

Прочие

3. Лукин М.В. О результатах экспериментальных исследований деревянных дисковых ферм на кратковременные и длительно действующие нагрузки [Текст] / М.В. Грязнов, В.Ю. Щуко, М.В. Лукин// Материалы межд. симпозиума «Современные строительные конструкции из металла и древесины», ОГАСА, Одесса, 2006 г., с. 48...53.
4. Лукин М.В. К определению деформаций ползучести древесины при сжатии [Текст] / В.Ю. Щуко, С.И. Рощина, В.В. Михайлов, М.В. Лукин //Материалы V межд. науч.-технич. конф. «Итоги строительной науки», ВлГУ, Владимир, 23-25 октября 2007 г., с.3...5.
5. Лукин М.В. Вероятностная оценка надежности металлодеревянных балок-ферм [Текст] / В.Ю. Щуко, В.В.Михайлов, А.В. Власов, М.В. Лукин //Материалы V межд. науч.-технич. конф. «Итоги строительной науки», ВлГУ, Владимир, 23-25 октября 2007 г., с.6...10.

6. Лукин М.В. К исследованию напряженно-деформир. состояния облегченных деревянных конструкций на основании метода конечных элементов [Текст] / С.И. Рощина, А.Е. Руденков, М.В. Лукин //11-ая межд. науч.-технич. конф. «Строительство. Коммунальное хозяйство», том 1, Уфа, февраль 2007 г., с.110.
7. Лукин М.В. К вопросу рационального использования деревянных конструкций [Текст] / В.В. Михайлов, М.В. Лукин, С.И. Рощина // Сборник научных трудов. Современные строительные конструкции из металла и древесины. Часть 1. – Одесса, ОГАСА, ООО «Внешрекламсервис», 2008 г., с.210...211.
8. Лукин М.В. Усиление деревянных балок перекрытия внешним жестким армированием [Текст] / С.И. Рощина, М.В. Лукин // Сборник научных трудов «Наука и технологии. Краткие сообщения ХХІХ Российской школы, посвященной 85-летию со дня рождения академика В.П.Макеева», МСНТ, 23-25 июня 2009 г., г. Миасс, с.81-82.
9. Лукин М.В. Расчет усиленных деревянных балок перекрытия с внешним жестким армированием [Текст] / С.И. Рощина, М.В. Лукин // Сборник научных трудов межд. симпозиума «Современные металлические и деревянные конструкции (нормирование, проектирование и строительство)». Брест, 15-18 июня 2009 г., с.265...269.
10. Лукин М.В. Расчет деревянных балок перекрытия с внешним жестким армированием [Текст] / С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В. Лукин // Сборник научных трудов межд. науч.-практ. конф. «Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2009», Том 28 – Искусствоведение, архитектура и строительство, геология, география», Одесса, 2009 г., с.36-37.
11. Лукин М.В. Перераспределение усилий в деревянной армированной балке [Текст] / С.И. Рощина, В.В. Михайлов, М.В. Лукин // Материалы VIII межд. науч.-технич. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика (МК-124-19)», Пенза, октябрь 2009 г., с.58-61.
12. Лукин М.В. Особенности расчета усиленных деревянных балок перекрытия с внешним жестким армированием [Текст] / С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В.Лукин // Сборник научных трудов 7-ой межд. науч.- практ. конф. «Развитие жилищной сферы городов». Москва, 2009., с.383...387.
13. Лукин М.В. К вопросу о планировании и методике экспериментального исследования усиленных деревянных балок перекрытия [Текст] / С.И. Рощина, М.В. Лукин //Научно-практическая конференция «Теория. Практика. Эксперимент» в честь Юбилея кафедры конструкций из дерева и пластмасс. Санкт - Петербург, 2010., с.48...51.
14. Лукин М.В. К вопросу исследования работы древесины с учетом ползучести древесины [Текст]/Михайлов В.В., Щелокова Т.Н., Лукин М.В., Курчевский Д.А.// Сборник научных трудов. Современные строительные конструкции из металла и древесины. №14. Часть 2. – Одесса, ОГАСА, 2010 г., с.87...89.
15. Лукин М.В. Расчет прочности усиленных деревянных балок перекрытия на основе численных исследований в программном комплексе LIRA 9.2. [Текст] / С.И. Рощина, М.В. Лукин // Международная научно-техническая конференция “Строительная наука-2010: теория, практика, инновации северо-арктическому региону”. Архангельск, 2010., с.307-310.
16. Лукин М.В. Учет ползучести при расчете композитных конструкций [Текст] / С.И. Рощина, М.В. Грязнов, М.В. Лукин, П.Б. Шохин // Проблемы и достижения строительного комплекса. Труды Международной научно – технической конференции «Стройкомплекс – 2010», г. Ижевск, 2010 г., с.30-33.

17. Лукин М.В. Расчет усиленных балок перекрытия на основе метода конечных элементов с применением программного комплекса LIRA 9.2. [Текст] / С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В.Лукин // Сборник материалов III Международной выставки-Интернет-конференции Энергообеспечение и строительство, г. Орел, 2009 г., с.223-227.
18. Лукин М.В. Исследование деформативности усиленных балок перекрытия на основе результатов расчета в программном комплексе Lira 9.2 [Текст] / С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В.Лукин // Материалы межд. научно-технической конференции «Строительная наука 2010», ВлГУ, Владимир, 2010 г., с.31...35

Подписано в печать .10.2010.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,25. Тираж 100 экз.
Заказ №
Издательство
Владимирского государственного университета
600000, Владимир, ул. Горького, 87.