

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Владимирский Государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

С.И. РОЩИНА М.В. ПОПОВА М.С. ЛИСЯТНИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ, УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОТКАНЬЮ

Учебное пособие к выполнению
выпускной квалификационной работы магистра

Владимир 2018

УДК 69.07
ББК 38.55

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
кафедры инженерных конструкций, архитектуры и графики
Северного (арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова
Б.В. Лабудин

Доктор геолого-минералогических наук,
заведующий кафедрой сопротивления материалов
Владимирского государственного университета имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В.В. Филатов

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Рощина, С. И. Исследование напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью : учебное пособие к выполнению выпускной квалификационной работы магистра / С. И. Рощина, М. В. Попова, М. С. Лисятников ; Владимир. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2018. – 106 с. – ISBN XXXXXX.

Рассмотрены особенности выполнения выпускной квалификационной работы магистра на примере исследования напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций. Даны рекомендации по подготовке, оформлению и защите выпускной квалификационной работы.

Предназначено для студентов вузов всех форм обучения по направлению 08.04.01 «Строительство» (программы: «Теория и проектирование зданий и сооружений», «Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений», «Проектирование, реконструкция и эксплуатация энергоэффективных зданий»).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 20. Табл. 3. Библиогр.: 47 назв.

ISBN XXXXXX

УДК 69.07
ББК 38.55
© ВлГУ, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) магистра является своего рода «диссертацией», выполненной магистрантом на основе его научных изысканий, проведенных под руководством научного руководителя. Работа должна отражать личный вклад магистранта в исследуемую проблему и свидетельствовать о способности автора проводить самостоятельные научные исследования или разработки, используя полученные в процессе обучения теоретические знания и практические навыки.

Цель написания выпускной квалификационной работы магистра – раскрыть научный и творческий потенциал магистранта, его профессиональную квалификацию и подготовленность к проведению исследований в соответствии с выбранной специальностью.

По результатам защиты выпускной квалификационной работы магистра в Государственной экзаменационной комиссии (ГЭК) делается заключение о возможности присвоения выпускнику магистратуры квалификации «магистр» по направлению 08.04.01 «Строительство».

Древесина представляет собой ценнейшее сырье, которое находит самое широкое и многообразное использование. Лесные ресурсы в отличие от природных (угля, руды, нефти и т.д.) возобновимы. К положительным свойствам древесины относятся сравнительно невысокая ее плотность при высокой относительной прочности в 5-7 раз большей, чем у бетона и всего на 3-4% меньшей, чем у прокатной стали, а также низкая теплопроводность, высокая химическая стойкость, легкость и простота обработки, хорошие акустические и эстетические качества, относительно невысокая стоимость.

Использование древесины для строительства началось еще в древние времена. В XIX-XX веках было создано и налажено мануфактурное производство деревянных пиломатериалов и конструкций. Индустриализация позволила сократить время производства и увеличить качество разрабатываемых изделий. После 50-х годов прошлого века было принято решение массового выпуска заводских клееных деревянных конструкций. Они зарекомендовали себя в проектировании архитектурно выразительных большепролетных зданий с облегченным покрытием и со стойкими к химическим агрессивным средам несущими

и ограждающими конструкциями. Массовый выпуск клееных деревянных конструкций в России (СССР) начался в 1973 г. после сдачи в эксплуатацию первого в стране специализированного предприятия – Волоколамского завода строительных материалов. В начале XXI века древесина продолжает активно использоваться в строительной сфере как ресурсосберегающий (по отношению к стали) экологически чистый материал.

Исследованием конструирования и технологии изготовления деревянных и деревоклееных конструкций, изучением физико-механических свойств древесины, ее обработкой занимались ученые: Арленинов Д.К., Ашкенази Е.К., Белянкин Ф.П., Вдовин В.М., Глухих В.Н., Знаменский Е.М., Иванов Ю.М., Инжутов И.С., Каратаев С.Г., Карлсен Г.Г., Ковальчук Л.М., Лабудин Б.В., Левинский Ю.Б., Леонтьев Н.Л., Мажара П.И., Манжос Ф.М., Мелехов В.И., Митинский А.Н., Михайлов Б.К., Найчук А.Я., Онегин В.И., Орлович Р.Б., Отрешко А.И., Пластинин С.Н., Погорельцев А.А., Пятикрестовский К.П., Савков В.И., Санжаровский Р.С., Светозарова Е.И., Серов Е.Н., Слицкоухов Ю.В., Смирнов Е.А., Стоянов В.В., Травуш В.И., Турковский С.Б., Турушев В.Г., Турков А.В., Уголев Б.Н., Хлебной Я.Ф., Хрулев В.М., Черных А.Г., Черных А.С., Шмидт А.Б., Шухов В.Г., Щуко В.Ю., Фурсов В.В., Bauman R., Gatz K.-H., Haring H., Hettzer O., Kollmann F., Larsen H., Lyon D.E., Mielczarek Z., Norris H. и др.

1. ПОРЯДОК УТВЕРЖДЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

Тема выпускной квалификационной работы магистра должна соответствовать выбранному направлению магистерской подготовки и быть актуальной с точки зрения современного состояния и перспектив развития науки, техники и культуры.

Предварительную тематику выпускной квалификационной работы магистра определяет выпускающая кафедра института. Поступающий в магистратуру выбирает одну из указанных тем, согласовывает ее с заведующим выпускающей кафедры и предполагаемым научным руководителем.

Поступающий в магистратуру имеет право предложить собственную тему магистерского исследования. Оценка актуальности темы выпускной квалификационной работы магистра проводится заведующим кафедрой, равно как и предварительное согласие на научное руководство также фиксируется на заявлении магистранта.

Согласованная таким образом тема исследований подлежит дальнейшей разработке.

В случае необходимости изменения или уточнения темы выпускной квалификационной работы магистра заведующий выпускающей кафедрой возбуждает ходатайство о внесении соответствующих изменений в приказ ректора не позднее, чем за два месяца до защиты магистерской выпускной работы.

2. НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

Для работы над выпускной квалификационной работой магистра каждому студенту назначается научный руководитель.

Научное руководство выпускной квалификационной работой магистра могут осуществлять профессора и доценты выпускающей кафедры Института архитектуры, строительства и энергетики (ИАСЭ). К руководству магистерской выпускной квалификационной работы могут привлекаться специалисты из числа руководителей и работников

организаций, деятельность которых связана с направленностью (профилем), реализуемой программы магистратуры (имеющих стаж работы в данной профессиональной области не менее 3-х лет).

Один преподаватель может быть руководителем не более трех магистерских выпускных квалификационных работ.

До 15 октября первого года обучения научный руководитель и магистрант составляют проект индивидуального плана магистранта, уточняют тему выпускной квалификационной работы магистра, ее структуру и план магистерских исследований.

В обязанности научного руководителя входит:

- помощь в выборе темы выпускной квалификационной работы магистра и разработке календарного плана-графика на весь период выполнения работы;
- систематическое консультирование магистранта по проблематике работы, оказание помощи в разработке теоретической и методологической базы исследования; консультации по выбору литературы, поиску информации, сбору данных и т.д.;
- содействие в организации консультаций с другими специалистами;
- контроль за ходом работы над исследованием и его соответствием утвержденному плану;
- заключительная проверка работы, в том числе на антиплагиат, при чем процент заимствования не должен превышать 30 %;
- подготовка развернутого письменного отзыва, в котором излагается актуальность темы; личное участие автора в разработке изложенных в выпускной квалификационной работе магистра положений, достоверность этих положений и результатов; степень новизны, научная и практическая значимость результатов исследования с заключением о соответствии (несоответствии) предоставленной работы требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам магистра;
- участие в заседании ГЭК по защите выпускных квалификационных работ магистра.

3. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА ПОДГОТОВКОЙ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

Организация текущего контроля за ходом ВКР возлагается на научного руководителя и заведующего выпускающей кафедрой.

Текущий контроль состоит в контроле за соблюдением магистрантом графика работ, оценке полученных результатов исследований и их представлении в виде разделов выпускной квалификационной работы магистра.

Текущий контроль за ходом исследований может осуществляться в следующих формах:

- собеседование магистранта с научным руководителем (не реже одного раза в две недели);
- собеседование магистранта с заведующим выпускающей кафедрой (не реже одного раза в семестр);
- процентовка выполнения работы другими сотрудниками кафедры (не реже одного раза в две недели в четвертом семестре);
- отчет магистранта на заседании кафедры (один раз в семестр);
- предзащита выпускной квалификационной работы магистра на заседании кафедры (не позднее, чем за 6 недель до срока защиты);
- представление выпускной квалификационной работы магистра к защите.

Окончательный вариант выпускной квалификационной работы магистра представляется магистрантом своему научному руководителю не позднее чем за 20 дней до защиты вместе с заявлением о самостоятельном характере выполнения ВКР (см. прил. 1).

Руководители организуют проверку работы, в том числе на объем заимствований, результат которой указывается в заключении комиссии по антиплагиату (см. прил. 2) и справку-отчет по антиплагиату (см. прил. 3) не позднее, чем за 15 дней до защиты.

Подписанная руководителем работа сдается на нормоконтроль на бумажном носителе (пояснительная записка и плакаты) не позднее, чем за 10 дней до защиты, который дает замечания по оформлению ВКР в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Исправленная после замечаний и подписанная нормоконтролем работа, передается на бумажном носителе заведующему выпускающей кафедрой на утверждение не позднее, чем за 7 дней до защиты.

Полностью подписанная работа, после утверждения заведующим кафедрой, отправляется на рецензию не позднее, чем за 5 дней до защиты.

Руководитель дает отзыв на ВКР не позднее, чем за 3 дня до защиты.

Не позднее, чем за 2 дня до защиты работы в ГЭК, выпускающая кафедра принимает решение о рекомендации работы к защите. Оформленная в соответствии с требованиями, выпускная квалификационная работа магистра вместе с отзывом научного руководителя и рецензией представляется в Государственную экзаменационную комиссию непосредственно в день защиты.

4. РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

Выпускная квалификационная работа магистра подлежит обязательному рецензированию. Состав рецензентов утверждается на заседании выпускающей кафедры путем голосования.

ВКР могут рецензировать высококвалифицированные специалисты других учреждений образования и науки (кандидаты и доктора наук), сотрудники органов государственного управления в сфере строительства, или лица, занимающие руководящие должности в строительных организациях (Генеральные директора, Главные инженеры проектов (ГИП) или Главные архитекторы проектов (ГАП)).

Выпускающая кафедра вправе запросить копию диплома об образовании рецензента и его трудовой книжки в приложении к его рецензии для подтверждения его квалификации и занимаемой должности.

В обязанности рецензента входит проверка представленной на рецензирование выпускной квалификационной работы магистра и подготовка развернутой письменной рецензии, в которой должны быть отмечены актуальность темы; обоснованность выводов и положений, логичность построения ВКР; наличие критического обзора литературы.

Кроме того, рецензент обязан указать недостатки и слабые стороны работы; замечания по оформлению и стилю изложения материала.

Рецензент в своем заключении вносит свое предложение об оценке работы («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»), дает рекомендации к ее защите («рекомендуется к защите», «не рекомендуется к защите») и присвоению автору квалификации «магистр» по направлению 08.04.01 «Строительство».

5. ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

Выпускная квалификационная работа магистра должна содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание;
- аннотация;
- содержание;
- перечень терминов и условных обозначений (при необходимости);
- введение;
- основную часть, разбитую на главы, в которой приводят анализ научной литературы, описание использованных методов, а также сущность и основные результаты исследования (минимум 3 главы);
- выводы и рекомендации;
- список использованной литературы;
- приложения (при необходимости).

Каждый раздел работы (аннотация, введение, главы и подглавы основной части, заключение, список использованной литературы и т. д.) должен иметь заглавие, а также начинаться с новой страницы (за исключением подглав).

Титульный лист ВКР оформляется по форме согласно приложению 4. Название выпускной квалификационной работы магистра должно быть кратким, определять область проведенных исследований, отражать их цель и соответствовать содержанию работы. В названии ВКР следует избегать усложненной терминологии, сокращений, и аббревиатур.

Задание оформляется по форме согласно приложению 5 и распечатывается с обеих сторон листа. Задание содержит сведения о теме ВКР, приказе об утверждении темы, дате выдачи и сроках сдачи готовой работы. Также в задании отражены исходные данные к ВКР, перечень подлежащих разработке вопросов и перечень графического материала (плакатов).

Аннотация представляет собой краткое изложение содержания магистерской выпускной квалификационной работы и оформляется согласно приложению 6. Выполняется на русском языке и иностранном, изучаемом магистром в университете. Объем аннотации на каждом языке не должен превышать полутора тысяч печатных знаков. Аннотация состоит из следующих сведений: название выпускной квалификационной работы магистра; краткое содержание выпускной квалификационной работы магистра, которое должно отражать актуальность работы, методы исследования, область применения и т.д.; количественные показатели работы (количество глав, использованных источников литературы, страниц, рисунков, таблиц и приложений). При изложении материала в аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных документов, избегать сложных грамматических оборотов. Необходимо использовать стандартизированную терминологию, избегать малораспространенных терминов и символов.

Содержание дается после аннотации и содержит пронумерованные названия глав и подглав квалификационной работы, точно соответствующие использованным в тексте работы названиям, с указанием страниц. Содержание оформляется в соответствии с приложением 7.

Перечень терминов и условных обозначений содержит специальные термины, малораспространенные сокращения, аббревиатуры, условные обозначения и т.п., которые располагают в алфавитном порядке и дают их расшифровку (см. прил. 8). В случае повторения в ВКР специальных терминов, сокращений, аббревиатур, условных обозначений и т.п. менее пяти раз их расшифровку приводят в тексте при первом упоминании.

Введение (см. раздел 5.1).

Основная часть (см. раздел 5.2).

Выводы и рекомендации, как правило, по функциональному значению должны мысленно разделяться на два подраздела: «Основные научные результаты ВКР» и «Рекомендации по практическому применению результатов ВКР» (см. прил. 9).

В первом подразделе дается краткое изложение сущности научных результатов ВКР. В этом подразделе магистрант в сжатой форме формулирует результаты, за которые ему может быть присуждена квалификация магистра, начиная с достижения цели исследования, а затем по каждой поставленной задаче.

Во втором разделе обсуждаются возможности практического применения полученных результатов. В нем же могут быть обсуждены перспективы дальнейшего развития данного научного направления.

Список использованной литературы (см. прил. 10), содержащий перечень источников информации, на которые в работе приводятся ссылки, формируется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ 7.82-2001 «СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления» и ГОСТ Р 7.0.5-2008 «СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Минимальное количество использованных источников литературы должно составлять 20 шт., не считая интернет-источников, правовых и нормативно-технических источников. Общее количество источников – не менее 30 шт. Срок используемой литературы не должен превышать 10 лет.

Приложение (при необходимости) включает вспомогательные материалы (схемы, графики, таблицы, чертежи и т.д.), на которые даются ссылки в тексте работы. Приложения не включаются в общее количество страниц работы. Число приложений определяется автором ВКР и его научным руководителем.

5.1. Введение ВКР

Введение включает:

- обоснование выбора темы;
- актуальность темы;
- цель или цели;

- задачи;
- указание объекта и предмета исследования;
- методологию исследования;
- обеспечение достоверности полученных результатов;
- научная новизна работы;
- практическая ценность работы;
- реализация результатов работы (при наличии);
- апробацию работы (статьи и доклады на конференциях, акты внедрения, гарантийные письма и т.д.);
- результаты, выносимые на защиту ВКР;
- структура и объем работы (указание полного объема ВКР в страницах, объема, занимаемого иллюстрациями, таблицами, приложениями (с указанием их количества), а также количества использованных источников).

Положения, выносимые на защиту, должны быть сформулированы ясно, конкретно, должны отражать сущность полученных научных результатов и быть сформулированы в виде: «Предложены новые методы, позволяющие повысить (улучшить)...» и т.д. Результаты, выносимые на защиту, должны содержать не только краткое изложение сущности полученных результатов, но и сравнительную оценку их научной и практической значимости.

Введение, как правило, – короткий раздел объемом до 5 страниц.

Рассмотрим ниже пример введения к ВКР на тему: «Исследование напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью».

Обоснование выбора и актуальность темы.

Применение высоких деревянных клееных балок с соотношением $h/b \geq 6$ в строительстве в районах с большими снеговыми и технологическими нагрузками получило новое развитие, связанное с освоением северных территорий. Результаты проведенных технических обследований деревоклееных балочных конструкций позволили установить, что отказ несущих элементов происходит в результате недостаточной сдвиговой прочности в нейтральной зоне сечения или из-за образования наклонных трещин в материале, вызванного растяжением в древесине под углом к волокнам. Одним из направлений повышения эксплу-

атационной надежности деревоклееных конструкций является усиление опорных участков, что обеспечивает повышение прочностных показателей и сопротивления скалывающим и растягивающим напряжениям.

Отдельные исследования в этом направлении посвящены применению для решения таких задач при изготовлении, монтаже и в эксплуатируемых конструкциях клеенных стержней и накладок, которые имеют свои преимущества и недостатки. Использование в усилении приопорных зон деревоклееных балочных конструкций клеевых композиций на основе стеклоткани и нанотехнологий является новым направлением и требует проведения специальных исследований.

Таким образом, направление выпускной квалификационной работы, связанное с усилением предельно-напряженных опорных зон деревоклееных высоких балочных конструкций в виде клеевого олигомера на основе стеклоткани с добавлением углеродных нанотрубок (УНТ), является актуальной задачей.

Тема ВКР соответствует направлению 08.04.01 «Строительство» по программе: «Теория и проектирование зданий и сооружений».

Цель и задачи работы.

Цель – Исследование напряженно-деформированного состояния ресурсосберегающих деревоклееных балочных конструкций с усилением приопорных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением углеродных нанотрубок.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

- провести анализ мирового опыта развития в проектировании деревянных и деревоклееных конструкций, в том числе усиленных полимерными и другими материалами;
- выполнить теоретические исследования деревоклееной балочной конструкции с обоснованием физической и математической модели анизотропного материала;
- разработать методику инженерного расчета высоких деревоклееных балок, усиленных олигомером на основе УНТ;
- выполнить численный расчет предложенной конструкции в ПК «ЛИРА 9.6».

Объект исследования – конструкция высоких деревоклееных балок с усилением предельно-напряженных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ.

Предмет исследования – определение напряженно-деформированного состояния высоких деревоклееных балок с усилением предельно-напряженных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ.

Методология исследования.

В работе использованы методы математического моделирования, основные теории и предпосылки строительной механики и сопротивления материалов, сертифицированные вычислительные программные комплексы, автоматизированные графические редакторы и программы.

Достоверность полученных результатов обеспечивается: применением научно-обоснованных методик, достаточным объемом теоретических исследований, применением методов математического моделирования и использованием принятых в механике гипотез и допущений, применением сертифицированных программных комплексов, сходимостью результатов инженерных и численных расчетов.

Научная новизна работы.

- разработана расчетная математическая модель усиленного олигомером приопорного участка балки, адекватно отражающая трансверсально-изотропные физические свойства клееной древесины и наномодифицированного материала на основе стеклоткани, эпоксидной диановой смолы и углеродных нанотрубок;
- предложены уточненные методики инженерного и численного расчетов деревоклееных балочных конструкций с усиленными опорными участками.

Практическая ценность работы.

Исследовано напряженно-деформированное состояние деревоклееных высоких балок с усилением предельно-напряженных приопорных зон. Результаты исследования позволяют расширить область применения высоких деревоклееных балочных конструкций, снижают запредельные напряжения в приопорных участках балок и повышают эксплуатационную надежность конструкций.

Апробация работы.

По результатам исследований опубликовано 4 работы, в том числе одна в изданиях по перечню изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК), и три статьи в других периодических изданиях.

по перечню ВАК:

1. *Лисятников М.С.* Расчет и усиление предельно-напряженных приопорных зон высоких деревоклееных балочных конструкций [Текст] / С.И. Рощина, *М.С. Лисятников*, А.С. Грибанов, Т.О. Глебова // «Лесотехнический журнал». – 2017, № 1(17).- С. 149-160.

в других изданиях:

2. *Лисятников М.С.* Расчет прочности композитных балок перекрытия с усилением приопорных зон на основе численных исследований в программном комплексе Lira 9.2. [Текст] / С.И. Рощина, М.В. Лукин, *М.С. Лисятников* // Сборник трудов межд. науч.-техн. конф. «Строительная наука 2016: теория, образование, практика, инновации». - Архангельск, С(А)ФУ. – 2016.- С. 253-256.

3. *Лисятников М.С.* Исследование напряженно-деформированного состояния древесины, армированной стеклотканью с включением УНТ, при скалывании вдоль волокон [Текст] / С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, *М.С. Лисятников*, А.С. Грибанов // Материалы межд. науч.-практическая конф. «Современные строительные конструкции из металла и древесины». - Одесса, ОГАСА. – 2016, № 18.- С. 178-181.

4. *Лисятников М.С.* Перераспределение напряжений в деревокомпозитных конструкциях при длительном действии нагрузки [Текст] / С.И. Рощина, А.В. Лукина, *М.С. Лисятников* // материалы науч.-тех. конф. «Дни науки студентов 2017», Владимир, – 2017.- С. 12-16.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных конференциях ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» в 2015...2017 гг., Международной научно-технической конференции «Строительная наука-2016: теория, практика, инновации северо-арктическому региону» (г. Архангельск, 2016 г.); Международном симпозиуме «Современные строительные конструкции из дерева и пластмасс» (г. Одесса, 2016 г.), Межрегиональной научной конференции «Строительная наука 2017» (г. Владимир, 2017 г.).

Результаты, выносимые на защиту ВКР:

- физическая и математическая модели для расчета опорных участков деревоклееных балок с учетом предельно-напряженного состояния древесины;

- результаты теоретического исследования прочностных свойств древесины приопорных участков высоких балок, усиленных олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ.

Структура и объем работы.

Работа состоит из аннотации, введения, 3 глав, списка литературы из 52 наименований, представлена на 93 страницах, содержит 58 рисунков и 3 таблицы.

5.2. Основная часть ВКР

Основная часть излагается в главах, в которых приводятся:

- аналитический обзор литературы по теме, развернутое обоснование выбора направления исследований и изложение общей концепции работы;
- описание предметов и объектов исследования, и используемых при проведении исследования методов;
- изложение выполненных в работе теоретических и (или) экспериментальных исследований;
- описание педагогических приемов и методик, позволяющих применить результаты в ВКР при реализации образовательной программы бакалавриата по направлению 08.03.01 «Строительство».

Распределение основного материала ВКР по главам и структурирование по разделам определяются магистрантом и его научным руководителем.

В *аналитическом обзоре* литературы магистрант приводит очерк основных этапов развития научных представлений по рассматриваемой проблеме. На основе анализа работ, выполненных ранее другими исследователями, магистрант выявляет вопросы, которые остались неразрешенными, и, исходя из этого, определяет предмет, объект и задачи своих исследований, указав их место в разработке данной проблематики.

При *описании объекта и предметов исследования* и используемых при проведении исследования методов магистрант характеризует основные подходы к решению поставленных задач, излагает используемые теоретические и (или) экспериментальные методы и обосновывает целесообразность их использования. Обязательным является

обоснование выбора объекта и предметов исследования и описание его свойств, в первую очередь описание физических и математических моделей.

При *описании собственного исследования* магистрант должен выделить то новое, что он вносит в разработку проблемы (задачи) или развитие конкретных направлений в соответствующей отрасли науки. Магистрант должен оценить достоверность полученных результатов, сравнить их с аналогичными результатами отечественных или иностранных исследований.

При *описании педагогических приемов и методик* магистрант должен подробно рассмотреть для каких профилей бакалавров и в каких дисциплинах могут применяться результаты его ВКР. В этой части работы он описывает внедрение результатов его работы в лекционные и практические занятия конкретных дисциплин, а также приводит сведения о своей педагогической практике во время обучения в магистратуре.

Весь порядок изложения в ВКР должен быть подчинен цели исследования, сформулированный автором. Дробление материала на главы и разделы, а также их последовательность должны быть логически оправданными.

При написании ВКР следует избегать общих слов и рассуждений, бездоказательных утверждений. Результаты исследований необходимо излагать сжато, логично и аргументировано.

При написании ВКР магистрант обязан делать ссылки на источники, из которых он заимствует материалы или отдельные результаты. Не допускается пересказ текстов других авторов без ссылок на них, а также цитирование текстов без использования кавычек.

Каждую главу основной части следует завершать краткими выводами, которые подводят итоги этапов исследования, и на которых базируется формулировка основных научных результатов и практических рекомендаций.

Рассмотрим ниже краткое изложение основной части ВКР на тему: «Исследование напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью».

Первая глава посвящена анализу мирового опыта создания и области рационального применения деревянных конструкций.

Деревянные конструкции в строительстве применяются человеком с древнейших времен. Для нашей страны, в которой сосредоточены огромные лесные богатства, целесообразность использования деревянных конструкций не вызывает сомнения. Но не только количественные запасы влияют на применение древесины в строительстве, так же влияют и конструкционные качественные показатели – значительная прочность и упругость при сравнительной небольшой массе [13].

Древесина как конструкционный материал.

Древесина, ксилема (от греч. *xýlon* – дерево), сложная ткань древесных и травянистых растений, проводящая воду и растворённые в ней минеральные соли; часть проводящего пучка, образующаяся из прокамбия (первичная древесина) или камбия (вторичная древесина). Она составляет основную массу ствола, корней и ветвей древесных растений.

Хвойные породы древесины, при средней плотности 500 кг/м^3 в 15,7 раза легче стали и в 4,8 раза легче бетона, что позволяет значительно снизить материальные затраты при возведении зданий и сооружений. Удельная прочность древесины всего на 4,4 % меньше, чем стали, и на 122 % выше, чем бетона.

Температурное расширение древесины при нагреве или остывании значительно меньше, чем у других строительных материалов. В условиях сильного нагрева деревянные элементы будут иметь удлинения в 2,5 раза меньше, чем стальные, в 2,8 раза меньше, чем бетонные, и в 5,7 раза меньше, чем алюминиевые. Именно поэтому исчезает необходимость расчленять деревянные здания на блоки ограниченной длины посредством устройства температурных швов.

Из отрицательных моментов в использовании древесины как конструкционного материала можно отметить пороки ее строения, снижающие прочностные и эксплуатационные свойства лесоматериала. Основные из них это сучки, свиль, косослой. Первые нормы проектирования деревянных конструкций (ДК) были опубликованы в 1929 г. Опыт производства и применения ДК обычно подразделяют на три периода: 1943-1955 гг., 1973-1988 гг., с 1993 г по настоящее время [23].

Повышенное внимание к древесине, как к конструкционному материалу, обусловлено ее анизотропным строением. Анизотропия (от др.-греч. *ἄνισος* — неравный и *τρόπος* — направление) — различие

свойств среды (например, физических и механических: упругости, электропроводности, теплопроводности, показателя преломления, скорости звука или света и др.) в различных направлениях внутри этой среды; в противоположность изотропии. Частный случай анизотропии — ортотропия (от др.-греч. ὀρθός — прямой и τρόπος — направление) — неодинаковость свойств среды по взаимно перпендикулярным направлениям. Существенное влияние на анизотропию древесины оказывает также ее анатомическое строение (макростроение) [14].

Расположение древесных волокон вдоль оси дерева обуславливает различие механических свойств древесины в направлении вдоль и поперек ствола. Модули упругости для направления вдоль волокон почти в 40 раз (ель) больше, чем в трансверсальной плоскости (поперек волокон), а предел прочности при сжатии в 10 раз, при растяжении в 20-30 раз.

Ориентированные микро- и макро- строение древесины обуславливает ее анизотропию не только при механических, но и при других физических воздействиях – теплопроводность, тепловое расширение, электропроводность, диэлектрическая проницаемость.

Клееные деревянные конструкции. Особенности компоновки поперечных сечений.

Наряду с цельнодеревянными конструкциями в строительстве получили широкое применение деревянные клееные конструкции (КДК).

Деревянная клееная конструкция – монолитная совокупность деревянных деталей (ламелей) определенных параметров и взаиморасположения, соединенных водостойкой клеевой прослойкой. КДК предназначаются для выполнения несущих, ограждающих и/или декоративных (эстетических) функций строительных конструкций [38]. КДК отличаются от натуральных деревянных конструкций большей механической прочностью, формостабильностью, долговечностью и надежностью [8, 22]. Область применения КДК – средние, большие и уникальные пролеты (от 12 до 200 м).

Начало биографии КДК можно отнести к получению первых патентов О. Гетцером и Л. Бакеландом в 1907 г [23].

Клееные балки применяют в качестве несущих элементов в покрытиях и перекрытиях сельскохозяйственных, промышленных и общественных зданий, а также в зданиях и сооружениях транспортного

строительства, в том числе в пролетных строениях деревянных мостов [33]. Наиболее широко используют клееные балки для перекрытия пролетов от 6 до 18 м.

Основные виды деревянных клееных балочных конструкций в зависимости от используемых в их составе материалов и компоновки поперечного сечения готового изделия представлены на рис. 5.1 в виде схемы.

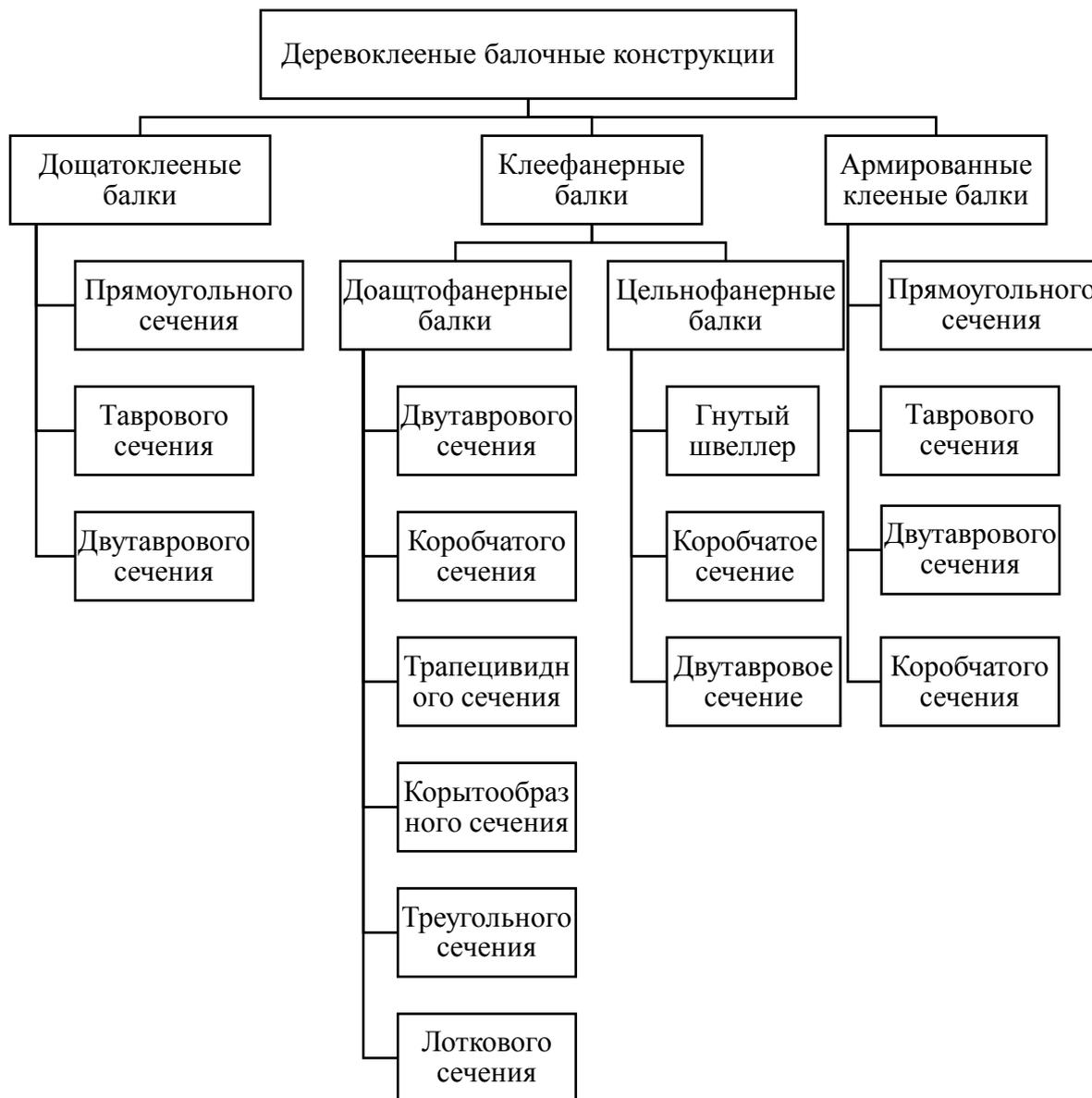


Рис. 5.1. Схема «Виды деревяноклееных балок»

В зависимости от очертания балки могут быть прямолинейными с постоянной высотой, двускатными и односкатными, криволинейного очертания с постоянной или переменной по длине высотой, ломанного очертания.

Дощатые многослойные клееные балки получают склеиванием досок по пласти (в отдельных случаях – по ширине) со стыкованием по длине с помощью зубчатого шипа [27].

В покрытиях зданий высоту главных дощатоклееных балок, обычно, назначают не менее $1/15$ от пролета, а ширину поперечного сечения не менее $1/8$ от высоты и необходимую для опирания прогонов или деревоклееных плит. При этом высоту и ширину сечения согласуют с толщиной и шириной используемых досок [26] с учетом припусков на острожку досок по толщине и на острожку боковых поверхностей балок после их склейки. По форме балок различают прямолинейные и гнутые балки.

Если ширина проектируемой балки b превышает 18 см, то ее изготавливают из двух балок необходимой высоты, но шириной $0,5b \leq 18$ см. После чего полученные элементы сплачивают в общее сечение на болтах.

При изготовлении балок допускается сочетать древесину двух сортов, используя в крайних зонах на $0,15$ высоты поперечного сечения древесины второго, а в средней части – третьего сорта. Рекомендуются также использовать в растянутой зоне высотой не менее $0,15$ высоты сечения доски толщиной 20 мм, что обеспечивает увеличение несущей способности балок на 15...20 % по сравнению с прочностью аналогичных балок из досок толщиной 33 мм.

Клеефанерные балки с плоскими стенками применяют в качестве главных балок в покрытиях зданий и в конструкциях автодорожных мостов с пролетами, не превышающими, обычно, 18...20 м. Высоту клефанерных балок, используемых в качестве главных в покрытиях зданий, назначают обычно не менее $1/12$ пролета и увязывают со стандартными размерами фанерных листов.

Для стенок балок используют водостойкую [31] или бакелизированную фанеру [1] толщиной не менее 8 мм и не менее $1/130$ высоты стенки. Пояса балок выполняют из вертикально расположенных досок толщиной 33 мм, склеенных между собой и со стенкой. Устойчивость

стенок обеспечивают постановкой ребер жесткости, которые располагают с шагом $1/8 \dots 1/10$ пролета и согласуют со стыками фанерных листов. Ребра жесткости в двутавровых балках ставят снаружи, а в коробчатых – между стенками. Двутавровые балки выполняют также с волнистой стенкой.

Из клеефанерных балочных элементов трапециевидного поперечного сечения, укладывая их по главным балкам как настил, собирают перекрытия (покрытия) с пролетами от 6 до 12 м, при этом высота элементов принимается от $1/30$ до $1/16$ от пролета.

Балки треугольного поперечного сечения применяют как наклонные стропила. Устанавливая вплотную, собирают из них настилы, используют как одиночные балки и т. д.

Корытообразные сечения клеефанерных балок образуют, выгибая и приклеивая фанеру к каркасу из стрингерных и шпангоутных элементов. Выгиб фанеры обуславливает увеличение ее устойчивости при работе на совместное действие скалывающих и нормальных напряжений и позволяет увеличивать расстояние между поперечными элементами, выполняющими роль ребер жесткости.

В цельнофанерных балках можно весьма эффективно использовать однонаправленную толстую фанеру в виде длинных досок, изготовляемых из отходов фанерного производства и обладающих повышенной прочностью при действии усилий вдоль волокон шпонов.

Армировать стальными прутками деревянные брусчатые балки и колонны в несущих строительных конструкциях впервые предложил в Германии в 1926 г. А. Фишер. Первые разработки и исследования клееных армированных деревянных конструкций провел Х. Гранхольм. Соединение арматуры с древесиной в этих конструкциях выполнялось с помощью эпоксидных и фенолоформальдегидных клеев [37].

Армированные балки целесообразно использовать, когда по каким-либо причинам их высота должна быть принята менее $1/12 \dots 1/15$ от пролета, а также при необходимости перекрыть балками пролеты более 18...24 м [6].

Рекомендуется применять армированные балки прямолинейного очертания с постоянным прямоугольным сечением. Можно армировать и двускатные балки постоянного сечения, имеющие в ключе гнутый участок, а также гнутоклееные балки.

Возможно применение клееных армированных балок прямоугольного таврового, двутаврового и коробчатого сечений. В качестве арматуры используют стальные стержни периодического профиля; тонкую высокопрочную проволоку; стержни квадратного сечения; полосовую сталь, в том числе перфорированную стальную ленту; углепластиковую и другие виды композитной арматуры.

Обычно балки армируют по всей длине, располагая арматурные стержни симметрично в верхней и нижней зонах балок. При необходимости арматурные стержни размещают в этих зонах в два горизонтальных ряда. Применяют также армирование балок на части длины, например, в надпорных участках неразрезных балок, в узлах жесткого сопряжения балок друг с другом. С помощью наклонно клеенных стержней армируют балки только у опор для восприятия напряжений скалывания, используют местное армирование поперечными стержнями на участках балок (например, криволинейного очертания), где возникают опасные растягивающие напряжения поперек волокон и т.д. [34]. Армирование на части длины выполняют так же и в пролете балочных конструкций, где возникают главные растягивающие и сжимающие напряжения вдоль волокон.

Наряду с армированными деревоклееными балочными конструкциями в строительстве зарекомендовали себя цельнодеревянные балки, усиленные при изготовлении: арматурной сталью; жесткой арматурой в виде швеллера, закрепленного на сварке к клееным под углом стержням в растянутой или сжатой зоне [30]; стеклотканью в растянутой и/или сжатой зоне с термоупрочнением клеевого состава [5, 32] и т.д.

Стеклоткани. Основные характеристики

Стеклоткань (стекловолокно) – это тепло-, электро- и гидроизоляционный материал, состоящий из взаимно-перпендикулярно переплетенных нитей стекла диаметром 3-100 мкм.

Ученые «Corning Glass» при помощи расплавленного стекла соединяли 2 стеклянных блока. Случайный обрыв воздухопровода привел к тому, что в расплавленное стекло под большим давлением попала струя сжатого воздуха. В результате был образован фонтан из стеклянных волокон, что и натолкнуло исследователей на идею создания стекловолокна. В 1936 году результатом продолжительных экспериментов

стало изготовление стекловолоконной ткани, которая вместе со стекловолокном стали ключевыми звеньями в создании стеклоткани. Промышленное производство непрерывного стеклянного волокна в Советском Союзе впервые было организовано в 1942 г.

Стеклоткань выгодно отличается от аналогичных материалов рядом свойств, среди которых: прочность; долговечность; сплошная структура; влагостойкость; высокий уровень электроизоляции; неподверженность коррозии; стойкость к разложению, воздействию химикатов, износу и перепадам температуры. Свойства стеклотканей зависят от анизотропного строения ткани, плотности переплетения, извитости пряжи, плотности исходной пряжи и от условий ткачества. Безусловно, благодаря своим свойствам стеклоткань получила широкое распространение в промышленности, строительстве и в частности в деревокомпозитных конструкциях.

Поверхностная плотность стеклотканей может составлять 200-1800 г/м². Плотность нитей в основе и утке определяется количеством нитей в 1 см. ткани в продольном и поперечном направлениях соответственно. «Основа» - это пряжа, расположенная вдоль длины ткани, а «уток» перевивает ткань в поперечном направлении. Следовательно, плотность ткани, ее толщина и прочность при разрыве пропорциональны числу нитей и типу пряжи, используемой при ткачестве.

Существуют различные виды переплетений основы и утка для создания прочных тканей. Варьируя вид ткани, можно создать разнообразные армирующие структуры, влияющие в определённой степени на свойства композитных конструкций с их применением. В ряде случаев применения стеклотканей требуются специальные виды переплетений. По виду переплетения стеклоткани принято разделять на полотняные, саржевые, сатиновые и многие другие плетения, которые соответствуют видам плетения текстильных изделий.

Стеклоткани определяется составом и свойствами волнообразующего стекла, из которого их изготавливают. В зависимости от состава различают несколько марок такого стекла: А (высокощелочное) – известково-натриевое стекло; С (химически стойкое) – натрий-боросиликатное стекло; Е (электроизоляционное) – алюмоборосиликатное стекло; S (высокопрочное) – магнезиально-алюмосиликатное стекло; Кварцевое.

Основные работы по усилению деревянных и деревоклееных балочных конструкций.

Усиление строительных конструкций достаточно сложная инженерная задача, при которой надо установить причину и характер отказа, провести подробное визуальное и инструментальное обследование, выполнить поверочные расчеты и дать грамотное заключение и рекомендации по восстановлению и ремонту.

Один из видов деревянных и деревоклееных конструкций – балки. Характер работы балочных элементов – это изгиб. Критерии работы древесины в этом случае можно свести к теории классического разрушения. Соответственно в подавляющем большинстве случаев потеря несущей способности или разрушение конструкции проходит в середине пролета. В связи с этим основная масса решений по усилению балок направлена на снижение влияния нормальных напряжений в середине пролета, а усилением опорной зоны ошибочно пренебрегают.

Рассмотрим подробнее работу приопорного участка балки. Под действием равномерно-распределённой нагрузки в опорной зоне возникает следующее напряженное состояние:

- а) Скалывание вдоль волокон (сдвиг);
- б) Смятие поперек волокон (поверхностное сжатие от опорной реакции);
- в) Растяжение под углом к волокнам.

При действии таких граничных напряжений возможно разрушение на опоре балки. Расчетные сопротивления древесины скалыванию, смятию и растяжению поперек и под углом к волокнам в 10 и более раз меньше расчетного сопротивления изгибу. Исследования показали, что приведенные суммарные напряжения под углом к волокнам, хотя и незначительные по величине, часто оказываются соизмеримыми с сопротивлением клееной древесины в соответствующих направлениях и становятся более опасными, чем максимальные [23]. Исходя из этого, дефекты и очаги первых признаков разрушения возникают часто вне зон действия максимальных напряжений. Еще в 1955 г. был сделан вывод о разрушении древесины в виде отрыва по главным площадкам даже при скалывании стандартных образцов. Такой характер разрушения будет свойственен высоким деревоклееным балкам перекрытия и покрытия, клееным балкам-вставкам в перекрестно-балочных системах, где выполняются условия

$$h > \frac{l \cdot R_{ск}}{R_{и}}; \quad (5.1)$$

$$h > \frac{1}{13} l. \quad (5.2)$$

где h – высота сечения балки;

l – пролет балки;

$R_{ск}$ – расчетное сопротивление древесины на скалывание вдоль волокон;

$R_{и}$ – расчетное сопротивление древесины на изгиб.

Из выражения 5.1 и 5.2 следует, что прочность балки у опор необходимо оценивать как у изгибаемого анизотропного элемента с использованием критериев прочности древесины при сложном напряженном состоянии. Учитывая это, необходимо проверять прочность балок по главным растягивающим напряжениям, возникающим у опор, в случае [3]

$$\frac{h}{l} \geq \frac{1}{10}. \quad (5.3)$$

Эту проверку предлагается производить для балок постоянной высоты на расстоянии $x = 0,9h_0$ от опоры, а для балок с переменной высотой сечения при $x = 1,1h_0$.

Также стоит отметить, что разрушение балочной конструкции на опоре возможно и при деструкции древесины вследствие неудовлетворительных условий эксплуатации [34]. Целесообразность оценки клееных деревянных балок под углом к волокнам также возникает в окрестностях приложения сосредоточенных сил, в том числе возросших опорных реакций, в зонах крутых подрезок, особенно у растянутых кромок, на криволинейных участках при изгибе, уменьшающем кривизну элемента, и др. [23]. Проанализировав все вышесказанное можно сделать вывод о сложноподвижной работе древесины вследствие анизотропии строения, а также о необходимости в определённых случаях усиливать опорные зоны балочных конструкций.

Ниже представлена схема (рис. 5.2), на которой систематизированы различные виды усиления приопорных участков деревянных и деревоклееных балочных конструкций в период изготовления, монтажа и эксплуатации.

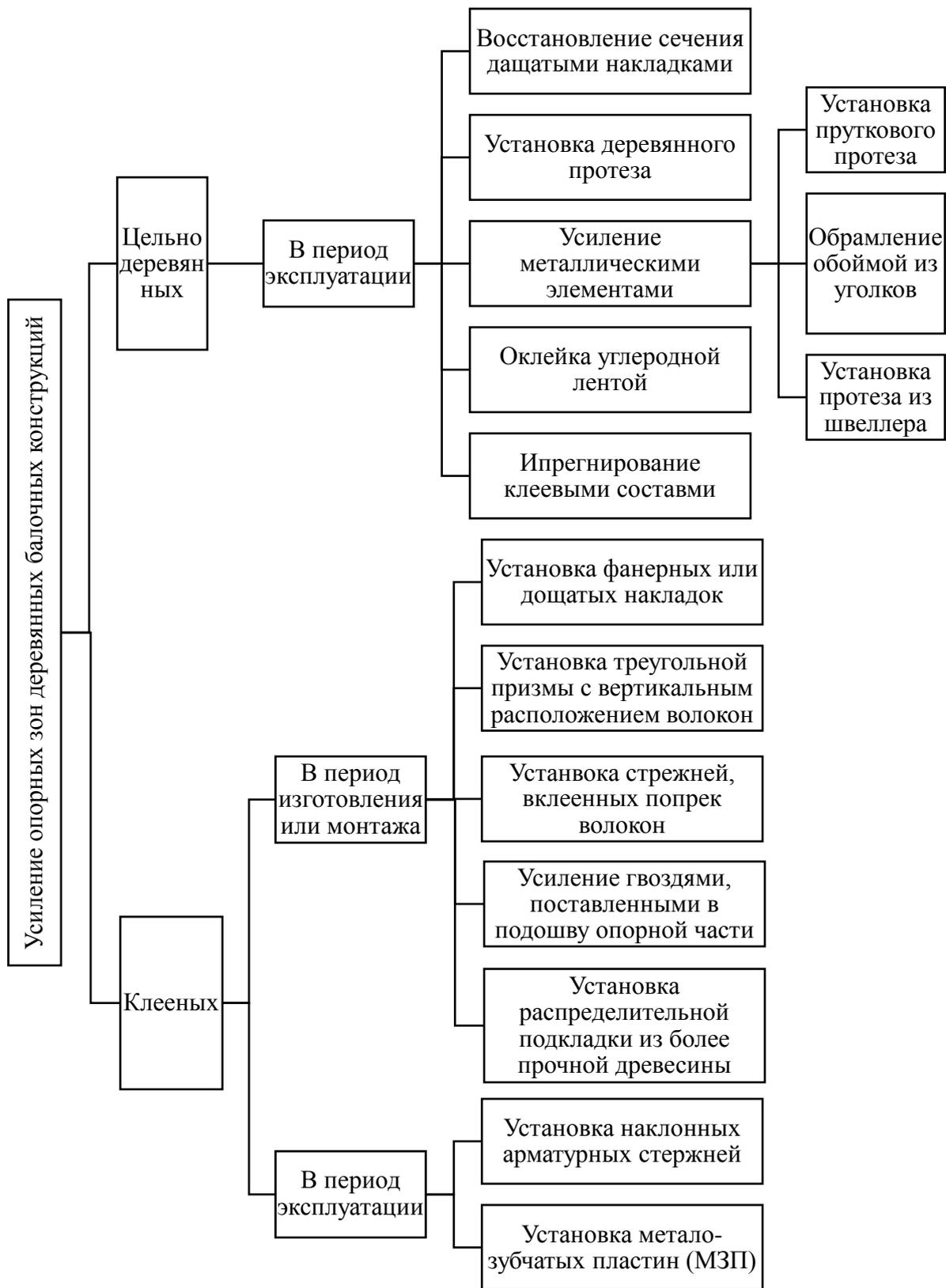


Рис. 5.2. Схема «Усиление опорных зон деревянных балочных конструкций»

Опорные зоны цельнодеревянных балочных конструкций усиливают только в период эксплуатации. Приопорные участки цельнодеревянной балки находятся в условиях переменного температурно-влажностного режима, они подвержены биоповреждениям, вызывающим загнивание и деструкцию. Так же неудовлетворительная гидроизоляция концов балок в местах опирания их на каменные стены ускоряет процесс разрушения древесины.

Самый распространенный метод усиления опорных зон цельнодеревянных балок – это восстановление сечения дощатыми накладками или установка деревянного протеза.

Существует метод усиления опорных зон цельнодеревянных балок металлическими элементами: установка пруткового протеза, обрамление обоймой из уголков и установка протеза из швеллера. Все эти виды полностью исключают опирание цельнодеревянной балки на каменные стены.

В последние годы все больше развивается химическая промышленность, что приводит к появлению усиления деревянных балочных конструкций различными материалами и полимерами.

Существует метод усиления опорных зон деревянной балки углеродной лентой, наклеенной на боковые грани по главным растягивающим напряжениям под углом 30° [36]. Также возможен метод усиления опорных участков балок, заключающийся в восстановлении несущей способности деструктированных деревянных элементов путем применения композитных полимерных составов [24].

Многочисленные технические обследования строительных конструкций показали, что при всей простоте опорных узлов клееных балок встречаются и неудачные решения, выполненные без учета деформаций древесины в опорных зонах, вследствие изменения влажностных условий эксплуатации, нагрузки от монтируемых позднее покрытия и кровли, а также переменной снеговой нагрузки. В некоторых случаях это привело к появлению опасных трещин в зоне опорных участков балок, где действуют наибольшие скалывающие напряжения. Это не позволяет рационально использовать прочностной потенциал клееной древесины и требует значительных затрат на ремонтные работы по усилению конструкций с дефектами.

Усиление опорных зон деревоклееных балочных конструкций возможно в процессе изготовления или монтажа, а также во время эксплуатации. В большом количестве клееных конструкций, возведенных в 70-90-х годах XX столетия к началу нового тысячелетия выявился один общий дефект в опорной зоне, вызванный сдвиговыми усилиями. Основными направлениями усиления приопорных участков эксплуатируемых клееных балок являются вклеивание наклонных стержней, установка накладок или МЗП (метало-зубчатых пластин).

Усиление конструкций от сдвига опорных узлов проводится с использованием вклеенных стержней под углом $30\text{--}45^\circ$ к направлению волокон [34]. Первые же опыты, проведенные на экспериментальной базе Волоколамского завода, подтвердили эффективность и преимущества наклонно вклеенных связей в сравнении с вклеенными связями вдоль волокон. Этот метод применяют для конструктивного усиления всех изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов, что практически исключает отказы конструкций по причине недостаточной сдвиговой прочности.

На кафедре «Инженерные конструкции, архитектура и графика» САФУ (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) д.т.н., профессором Лабудиным Б.В. и к.т.н., доцентом Карельским А.В. был предложен метод усиления опорных зон деревоклееных балок при помощи МЗП [18]. Суть метода заключается в установке пластины в месте трещин, возникших в результате сдвиговых деформаций.

Прочность на скалывание клееных деревянных конструкций можно повысить не только во время ремонта, но и в процессе изготовления или монтажа. Это экономически и эстетически целесообразнее. В нашей стране разработано несколько таких решений по усилению опорных участков.

Метод установки фанерных или дощатых накладок заключается в креплении листов фанеры или досок к боковым граням балок нагелями или клеями. Доски можно крепить к балке перпендикулярно волокнам клееной конструкции или перекрестно – под углом к ним [10].

Существует метод установки деревянной призмы с вертикальным расположением волокон. Суть метода состоит в том, что в опорной части дощатоклееных балок большого поперечного сечения выпи-

ливается уголок под углом 45° , затем после разворота на 90° клеивается обратно. Этим достигается по контактной поверхности балки с опорной частью максимальное сопротивление древесины смятию [12].

Возможен метод усиления стержнями, клееными поперек волокон [3] с установкой стержней в один и два ряда в зависимости от величины опорной реакции.

Существует метод усиления гвоздями, поставленными в подошву в опорной части деревоклееной балки [10].

Во время монтажа дощатоклееных конструкций также можно уменьшить смятие опорной площадки установкой распределительной подкладки из более прочной древесины [10].

В данной работе рассмотрен новый вид усиления приопорной части деревоклееных балок обоймой из стеклоткани и клеевого наномодифицированного олигомера.

Применение наноматериалов в клеевых композициях.

Наноматериалы — вид продукции наноиндустрии, вещества и композиции веществ, представляющие собой искусственно или естественно упорядоченную систему базовых элементов с нанометрическими характеристическими размерами и особым проявлением физического и (или) химического взаимодействий при кооперации наноразмерных элементов, обеспечивающих существенное улучшение или возникновение совокупности качественно новых (в том числе, ранее неизвестных) механических, химических, электрофизических, оптических, теплофизических и других свойств данных материалов, определяемых проявлением наномасштабных факторов [19].

Наноматериалы часто применяют для улучшения свойств клеев и композиций на их основе, что позволяет создавать полимерные материалы, применяемые в различных отраслях промышленности, в том числе и в строительстве. Наибольших успехов в развитие и применении наномодифицированных клеевых композиций, полимеров и препрегов достиг Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП ВИАМ).

Клеевая композиция — многокомпонентные композиции на основе органических или неорганических веществ, способные соединять (склеивать) различные материалы, образуя прочные адгезионные связи между прослойкой клея и материалами соединяемых поверхностей.

Полимер (греч. πολύ- — много; μέρος — часть) – неорганические и органические, аморфные и кристаллические вещества, состоящие из «мономерных звеньев», соединённых в длинные макромолекулы химическими или координационными связями. Полимер — это высокомолекулярное соединение: количество мономерных звеньев в полимере (степень полимеризации) должно быть достаточно велико, в ином случае соединение будет называться олигомером.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят все более широкое применение в различных отраслях человеческой деятельности. При механической обработке на кромках и обработанной поверхности образуются дефекты типа микротрещин, ворсистости, сколов связующего, расслоений. Эти дефекты при сочетании с концентраторами напряжений в виде отверстий и вырезов приводят к уменьшению прочности и усталостной долговечности деталей из ПКМ [15].

Для ремонта вышеперечисленных дефектов и упрочнения зон концентрации напряжений специалистами Центрального аэрогидродинамического института (ФГУП ЦАГИ) совместно с ООО НПФ «Техполиком» и Тамбовским государственным техническим университетом (ТГТУ) была разработана наномодифицированная клеевая композиция, в которой в основу клея конструкционного назначения введены наночастицы «Таунит» [28]. Предел прочности наномодифицированного клеевого соединения увеличился на 26 % по сравнению с пределом прочности исходного клеевого компаунда.

Известен случай модификации клеевого состава наносоединениями углерода фуллеренового ряда. Модификация полимеров проводилась смесью фуллеренов следующего состава: C50-C58 (14,69 %), C60 (63,12 %), C62-C68 (5,88 %), C70 (13,25 %), C72-C92 (3,06 %). При этом исследовали плёнки, образованные полиуретановым клеем, модифицированным наносоединениями углерода фуллеренового ряда, указанного состава, а также фуллереновой сажой (фуллерен содержащий технический углерод). Модификация клеевых композиций фуллереновой смесью указанного состава проводилась путем внесения необходимой концентрации толуольного раствора смеси фуллеренов, в 3 % толуольный раствор анализируемых каучуков, так, что массовое соотношение полимер-модификатор в пересчете на сухое вещество составило 100 к 0,03.

Полученные данные позволили сделать естественное заключение о том, что и фуллерен содержащий технический углерод и фуллереновые смеси переменного состава, могут быть использованы для получения клеевых композиций повышенной прочности. Прочность таких композиций возрастает в среднем на 18...20 %.

В последнее время при создании полимерных композиционных материалов широко используют клеевые препреги, в которых тканевый наполнитель (стеклоткань, углеродная ткань) пропитан эпоксидным связующим способом безрастворной технологии (пропитка ткани расплавом связующего). Сочетание этих материалов обеспечивает уникальную комбинацию характеристик материалов, перспективных для создания конструкций и изделий [34].

Отличительной особенностью клеевых препрегов является то, что они позволяют реализовать высокоэффективную технологию сборки клееных конструкций [21]. Результат применения клеевых препрегов – снижение: цикла изготовления конструкций в 2–3 раза, трудоемкости изготовления конструкций на 40-50 % по сравнению с обычными клееными (за счет сокращения количества технологических операций в 3 раза), количества оснастки в 1,5-2 раза, массы конструкции на 30-50 %, количества выбросов вредных веществ в атмосферу в 10-15 раз за счет использования безрастворной технологии изготовления клеевых препрегов и изделий из них. В препрегах обычно используют эпоксидные олигомеры, модифицированные полисульфонами, отверждаемые как самостоятельно, так и в сочетании с отвердителем.

В качестве тканевой составляющей используют большой выбор стекло- и углерод- тканей, в частности фирмы «Porsher» (Франция) [16]. Такая ткань выгодно отличается от зарубежных и отечественных аналогов, прочностью при растяжении – 1800 МПа, против 600-1250 МПа.

Прочность препрега можно также увеличить за счет создания необходимой степени анизотропии в соответствии с условиями работы конструкции. Прочностные характеристики готовых препрегов варьируются в пределах от 1100 МПа до 1600 МПа [25].

Для склеивания древесины между собой больше всего применяют резорциновые, фенолрезорциновые, фенольные, карбамидоформальдегидные, эпоксидные и дисперсионные (поливинилацетатные)

клеи, например, ФРФ-50, КБ-3, КФ-5 и ДФ51/15ВП. Испытания последнего клея на прочность склеивания и водостойкость проводят по европейской методике [4]. Результаты опытов показали, что клей не обладает достаточной прочностью и водостойкостью, и требует модификации.

Для решения поставленной задачи было выявлено три основных метода, на основе введения в клеевой состав:

- а) Карбамидной смолы;
- б) 5 % полиизоцианата, который превращает клей из термопластичного в термореактивный и делает его более твердым и водостойким;
- в) Нанодобавки.

Наиболее применимыми и перспективными материалами нанометрического диапазона являются нанопорошки металлов, диоксида кремния, диоксидов титана, сульфата бария, оксидов алюминия, циркония. Именно такие порошки и были применены в качестве добавок к клею путем введения в его состав суспензии «жидкость-наноматериал».

Для склеивания древесины с другими материалами, например, с металлом, стеклопластиком, угле- и стекловолокном и т.д., благодаря своей универсальной адгезии, зарекомендовали себя эпоксидные клеи, в частности на основе эпоксидно-диановых смол – ЭД-20 (вязкая прозрачная смола).

Эпоксидные олигомеры являются основой многочисленных клеящих систем и прежде всего высокопрочных конструкционных клеев благодаря сочетанию исключительно ценных свойств:

- а) Способность быстро отверждаться при комнатной и повышенных температурах с образованием прочных пространственных полимеров с хорошими адгезионными свойствами;
- б) Отсутствие летучих при отверждении;
- в) Возможность использования в клеевых системах без применения растворителей;
- г) Относительно невысокие остаточные напряжения в отвержденном состоянии и малая усадка;
- д) Стойкость к термоокислительной деструкции;
- е) Теплостойкость, достигающая 200 °С и кратковременно 315 °С;

- ж) Исключительно широкие возможности и модификации с целью изменения прочностных, эластических свойств и температурных характеристик;
- и) Возможность получения армированных и неармированных пленочных клеев;
- к) Высокие диэлектрические характеристики.

На базе кафедры «Строительные конструкции» Владимирского государственного университета для армирования деревянных конструкций было принято решение использовать клеевой компаунд ЭД-20 с добавлением в его состав УНТ, чтобы повысить прочностные, адгезионные и когезионные свойства клеевой композиции.

Углеродные нанотрубки — это протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров (при этом существуют технологии, позволяющие сплести их в нити неограниченной длины), состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку графеновых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена [17].

Идеальная нанотрубка представляет собой свёрнутую в цилиндр графитовую плоскость, то есть поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Результат такой операции зависит от угла ориентации графитовой плоскости относительно оси нанотрубки. Угол ориентации, в свою очередь, задаёт хиральность нанотрубки, которая определяет, в частности, её электрические характеристики.

История создания УНТ точно не определена. Сразу несколько ученых, экспериментировавших в разное время и независимо друг от друга могут претендовать на звание первооткрывателя в этом вопросе. Например, в 1974-1975 годах группа ученых под руководством Моринобу Эндо проводили эксперименты в этой сфере. Советский химик Корнилов А.А. в 1986 г. среди прочих не только теоретически обосновал существование однослойных углеродных нанотрубок, но и зафиксировал свои размышления касательно их свойств упругости. Так же известно, что в 1991 году наблюдения структуры многослойных нанотрубок проводил сотрудник японской корпорации NEC Сумио Ииджима. В 1992 году научно-популярный журнал «Nature» опубликовал

материал, из которого следовало, что первые свидетельства существования нанотрубок и их исследования зафиксированы в 1952 г. (статья советских физиков Лукьяновича Я.А. и Радущкевича Л.В. сообщала об электро-микроскопическом наблюдении волокон, имеющих диаметр порядка 100 нм).

Что касается вопроса получения УНТ, то наиболее широко распространенный метод использует термическое распыление графитового электрода в плазме дугового разряда, горящей в атмосфере гелия. Этот метод, лежащий также в основе наиболее эффективной технологии производства фуллеренов, позволяет получить нанотрубки в количестве, достаточном для детального исследования их физико-механических свойств. Трубки имеют куполообразные наконечники, содержащие, подобно молекулам фуллеренов, шести- и пятиугольники.

Благодаря своим уникальным свойствам (высокая прочность (63 ГПа), сверхпроводимость, капиллярные, оптические, магнитные свойства и т.д.) углеродные нанотрубки могут найти применение в огромном количестве областей: добавки в полимеры; катализаторы; аноды в литиевых батареях; композиты (заполнители или покрытия); нанозонды; датчики; усиление композитов; суперконденсаторы и т.д.

В настоящее время главными областями применения углеродных нанотрубок являются электроника, спортивные товары, авиа- и автомобилестроение [11]. В строительстве УНТ пока применяются редко, но с каждым днем эта ситуация меняется в положительную сторону. Углеродные нанотрубки обладают высокими прочностными характеристиками и должны более широко использоваться в строительных конструкциях и строительном производстве. Что касается деревоклеевых конструкций, то добавление в клеевой состав УНТ вызывает ряд технологических проблем. Использование модифицированных связующих для изготовления деревоклеевых конструкций методом вакуумной инфузии возможно лишь в случае равномерного диспергирования УНТ по объему жидкого связующего. В этом случае не происходит фильтрации наномодификатора при пропитке армирующего наполнителя. Для решения этой задачи ФГУП ВИАМ и ВлГУ совместно с (ТГТУ) и ООО «Нанотехцентр» (г. Тамбов) был использован процесс совмещения эпоксидной смолы с различными типами УНТ включающий три стадии:

- а) Ультразвуковое диспергирование УНТ в эпоксидном олигомере ЭД-20 в смеси с органическим растворителем в течение 40 мин;
- б) Деагрегированные дисперсии с помощью трехвалкового смесителя;
- в) Термообработка дисперсии при температуре 120°C в течение 2 часов.

Описанный процесс позволил получить эпоксидную смолу с включением УНТ, которые были равномерно диспергированы по объему. Затем были проведены исследование прочностных показателей ЭД-20 с включенными в его состав нанотрубками при холодном и горячем отверждении (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Результаты испытания образцов эпоксидной смолы

Вид испытываемой смолы	Прочность при холодном отверждении, МПа		Прочность при двухстадийном отверждении, при температуре второй стадии, МПа:					
	t=20 °С		t=50 °С		t=60 °С		t=70 °С	
Эпоксидная смола ЭД-20	97,5	101,4 (100 %)	102,3	105,7 (104 %)	108,6	112,8 (111 %)	114,6	116,4 (114 %)
	104,9		104,9		111,3		116,9	
	98,6		104,6		111,1		118,2	
	102,3		103,2		112,9		114,9	
	98,1		108,6		109,8		113,8	
	101,0		106,4		116,5		118,6	
	108,1		109,4		114,8		117,2	
	98,4		106,7		116,2		116,9	
	103,6		105,6		114,6		116,2	
Эпоксидная смола ЭД-20 с включением УНТ	112,4	109,1 (107 %)	116,3	117,3 (115 %)	125,6	126,5 (125 %)	129,6	130,9 (129 %)
	108,6		114,9		128,3		128,6	
	106,5		120,4		122,4		134,9	
	112,4		116,4		124,3		132,0	
	106,9		118,3		126,2		129,3	
	107,5		120,5		129,7		132,8	
	111,5		116,4		127,2		132,4	
	106,0		115,3		125,1		128,3	
	109,7		117,5		129,6		130,5	

За 100% в ходе испытаний была принята прочность на сжатие эпоксидной смолы ЭД-20 при холодном отверждении. Аналогичные

испытания на сжатие и изгиб модифицированных композиций были проведены на базе ФГУП ВИАМ [20]. В результате исследований было установлено, что прочность эпоксидной матрицы ЭД-20 имеющей в своём составе углеродные нанотрубки повышается на 6-8 % при холодном отверждении и на 12-18 % при горячем отверждении [32].

Во второй главе рассмотрено расчетно-теоретическое обоснование конструктивных решений высоких деревоклееных балок.

Выбор физической модели. Создание математической модели конструкции балки на основе метода конечных элементов.

Выбор физической и математической модели и обеспечение точности моделирования считается одной из самых важных задач исследования. Моделирование всегда предполагает принятие допущений той или иной степени важности. При этом должны удовлетворяться основные требования к моделям: адекватность, точность, универсальность, целесообразная экономичность.

Аналогичные требования по точности и экономичности фигурируют при выборе численных методов решения уравнений модели. Выбор физико-математической модели сводится к рассмотрению моделей анизотропных тел, а именно упругого тела и упруго-пластического тела. Опытные данные позволяют рассматривать все материалы до некоторых пределов нагружения как упругие и подчиняющиеся закону Гука [14]. Деформации считаются упругими, если они полностью и мгновенно исчезают после снятия нагрузки, сразу восстанавливается первоначальная форма и размеры тела, а величина тела не зависит от скорости нагружения. Модель упруго тела может быть представлена как пружина.

Для изотропного материала, свойства которого одинаковы во всех направлениях, закон Гука имеет вид

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (5.4)$$

где ε – относительная деформация;
 σ – нормальные напряжения;
 E – модуль упругости.

Величина деформации зависит от направления действия и величины напряжений, следовательно, закон Гука для анизотропных тел будет иметь другой вид. Для упрощенного представления формулы,

выражающей закон Гука для анизотропного тела необходимо воспользоваться тензорной записью. Для этого вводятся вместо буквенных двойные цифровые индексы у напряжений и деформаций.

Закон линейной упругости (закон Гука) в сокращенной тензорной записи принимает следующий вид

$$\sigma_{ij} = \sum_{kl} c_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}, \quad (5.5)$$

где ijk и l последовательно принимают значение 1, 2 и 3;

ε_{kl} – относительная деформация;

σ_{ij} – нормальные напряжения;

c_{ijkl} – упругие постоянные, характеризующие материал и определяемые экспериментально («упругие податливости»).

Одной из наиболее простых моделей упругого анизотропного тела является расчетная схема слоистого материала. При этом элемент анизотропного тела рассматривается методами теории упругости как пластинка, состоящая из нескольких слоев (в случае древесины – поздние и ранние слои). В качестве примера такого подхода можно привести работу А. Юлинена, в которой теоретически исследовано влияние процентного содержания слоев на величины модулей упругости, модулей сдвига и коэффициентов Пуассона. Он также предложил аппроксимацию диаграммы деформирования анизотропных тел [9] при помощи кубической параболы

$$\sigma = A_1 \varepsilon - A_2 \varepsilon^3, \quad (5.6)$$

где σ – напряжения;

A_1 и A_2 – константы, имеющие размерность напряжений;

ε – относительные деформации.

Более сложная структурная модель упругого анизотропного тела, основанная на представлении о жестком остове (скелете) и мягком наполнителе, рассмотрена Я. Ступником.

Тело, у которого после снятия нагрузки размеры и форма не восстанавливаются (упруго-вязкое, упруго-пластическое) или восстанавливаются только через определенное время (упруго-эластическое), называется неупругим, или материалом с реономными свойствами. Соотношения между напряжениями и деформациями для материала с реономными свойствами могут быть представлены реологическими

уравнениями или уравнениями математической теории термовязкоупругости. Расчетная схема при этом рассматривается на основе сплошной анизотропной квазигомогенной среды [14]. В реологии выделяют три сплошные среды, а именно: твердое тело Гука, вязкое тело Ньютона и пластическое тело Сен-Венана. Рассмотрим наиболее известные реологические модели анизотропных тел.

Существует модель Кельвина-Фойгта, учитывающая фактор релаксации анизотропного тела [7]. Данная реологическая модель отражает качественную характеристику деформирования тел. Снижение деформации после снятия нагрузки (релаксация) по модели представляется экспоненциальной зависимостью

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (5.7)$$

где τ – время релаксации системы, т.е. время в течении которого деформации в системе уменьшаются в $\exp(2,718)$ раз;

ε_0 – относительная начальная деформация.

Впервые упруго-вязкую модель (тело Максвелла) для анизотропных тел, в том числе для древесины предложил Ю.М. Иванов. Модель Максвелла вязкоупругого тела является комбинацией пружины и вязкого элемента (демпфера), соединенных последовательно. Демпфер обычно представляет собой жесткое тело правильной формы, погруженное в вязкую ньютоновскую жидкость. Если закрепить один конец модели неподвижно, а к другому быстро приложить механическую силу, возникнет деформация. Первоначально она будет связана только с деформацией пружины. Через некоторое время после ударного действия нагрузки начнется вязкое течение всего полимерного тела. Таким образом, модель Максвелла описывает поведение вязкого тела, осложненного упругостью.

Закон деформации реологической модели Максвелла имеет вид

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} - \frac{\sigma}{\mu}, \quad (5.8)$$

где ε – относительные деформации;

t – время;

σ – напряжения;

E – модуль упругости;

μ – вязкость.

Некоторые зарубежные исследователи использовали для описания деформации анизотропных тел модель тела Бюргера, которая включает в себя остаточные деформации в виде последовательного соединения к модели упруго-эластического тела элемента вязкости.

Уравнение тела Бюргера имеет следующий вид

$$\tau + \frac{G_1\mu + G_2\mu_1 + G_1\mu_1}{G_1G_2} \dot{\tau} + \frac{\mu_1\mu}{G_1G_2} \ddot{\tau} = \mu_1\dot{\varepsilon} + \frac{\mu_1\mu}{G_2} \ddot{\varepsilon}, \quad (5.9)$$

где τ – напряжения сдвига;

G – модуль сдвига второго рода;

μ – вязкость;

ε – деформации.

Изначально анизотропные тела рассматривались как упруго-эластические. Такая модель отражает поведение материала, деформации которого вполне обратимы. Использование такой реологической модели, при которой не учитывались остаточные деформации, конечно упрощало анализ напряженного состояния, но не могло отразить точной картины работы анизотропного тела. Остаточные деформации учитывались в модели упруго-пластического тела, но модель не описывала деформирования материалов различных анизотропных тел.

В итоге объединения двух моделей появилась реологическая модель анизотропного упруго-пластично-эластического тела. При мгновенном нагружении постоянной силой одновременно возникает упругая ε_y и пластическая ε_n деформация. После снятия нагрузки мгновенно восстанавливается упругая деформация. На восстановление эластической деформации требуется гораздо больше времени, чем на ее образование и развитие [35].

С учетом принятой реологической модели, суммарная деформация анизотропного тела от нагрузки составит:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_3} + \frac{\sigma}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} \tau}\right), \quad (5.10)$$

где E_1 – мгновенный модуль упругости;

E_3 – коэффициент пропорциональности, модуль пластической деформации, его величина не зависит от величины напряжения действующего на образец;

E_2 – модуль упругости второго рода;

e – основание натурального логарифма;

η_2 – коэффициент эластичности;

τ – время нахождения образца под нагрузкой.

Описанные выше модели упругого и упруго-вязко-пластического анизотропных тел могут быть использованы для описания напряженно-деформированного состояния древесины и стеклоткани.

Свойства клееной древесины часто приравнивают к анизотропным характеристикам цельной древесины, что не вполне отражает реальную картину работы конструкционного материала. Наиболее подходящая расчетная модель для клееной древесины – ортогональный трансверсально-изотропный (транстропный) материал.

Для описания физической и математической модели необходимо внести следующие гипотезы и допущения:

- а) Толщиной клеевых прослоек между деревянными заготовками можно пренебречь. Их толщина бесконечно мала относительно высоты клееного пакета. Древесина рассматривается как однородный материал;
- б) Физико-механические свойства древесины в пределах сечения усредняются;
- в) Не учитывается влияние локальных дефектов, находящихся в пределах норм и правил;
- г) Материал следует обобщенному закону Гука, компоненты напряжений и деформаций имеют линейную зависимость;

Феноменологическая модель трансверсально-изотропного материала внедрена в исследования отечественных и зарубежных ученых, также она рассматривается в расчетах строительных клееных деревянных конструкций и нормах проектирования. Рассмотрим деревянный дощатоклееный пакет (рис. 5.3) продольно-ориентированных относительно тонких слоев заготовок, волокна которых совпадают с геометрической осью z этого пакета (zOy – плоскость изотропии).

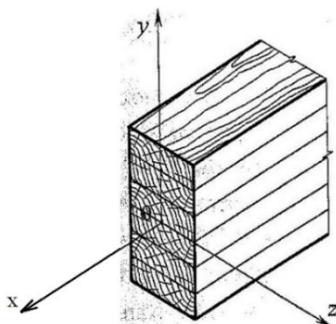


Рис. 5.3. Клееный пакет как трансверсально-изотропный материал

Обобщенный закон Гука для рассматриваемого пакета можно записать в следующем виде

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \left(\frac{1}{E_0}\right) \sigma_x - \left(\frac{\mu_1}{E_1}\right) (\sigma_y + \sigma_z); & \gamma_{xy} = \left(\frac{1}{G_1}\right) \tau_{xy} \\ \varepsilon_y = -\left(\frac{\mu_0}{E_0}\right) \sigma_x + \left(\frac{1}{E_1}\right) \sigma_y - \left(\frac{\mu_1}{E_1}\right) \sigma_z; & \gamma_{yz} = \left(\frac{1}{G_0}\right) \tau_{yz}, \\ \varepsilon_z = -\left(\frac{\mu_0}{E_0}\right) \sigma_x - \left(\frac{\mu_1}{E_1}\right) \sigma_y - \left(\frac{1}{E_1}\right) \sigma_z; & \gamma_{yz} = \left(\frac{1}{G_0}\right) \tau_{yz} \end{cases} \quad (5.11)$$

где ε – линейные деформации;

E – модуль упругости (модуль Юнга);

G – модуль сдвига;

σ – напряжения;

μ – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона);

γ – угловые деформации.

Олигомер на основе стеклоткани с добавлением УНТ имеет упругое деформирование вплоть до разрушения. Деформации в этом случае подчиняются линейному закону Гука [2]. Соответственно, для стеклоткани в данном исследовании принята физическая модель упруго тела.

Поперечное сечение деревоклееной балки с усилением изображено на рис. 5.4.

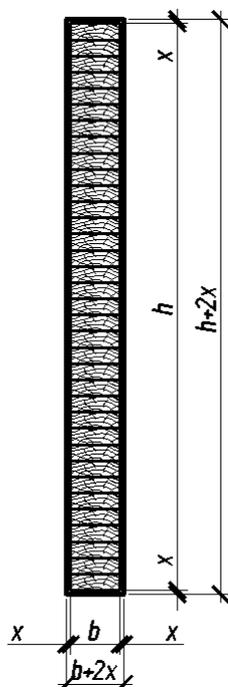


Рис. 5.4 – Поперечное сечение деревоклееной балки с усилением опорной зоны:
 b – ширина балки; h – высота балки; x – толщина усиления

Для разработки математической модели деревоклееной балки с усилением опорных зон необходимо определить геометрические характеристики конструкции. С точки зрения строительного проектирования наиболее подходящим для оценки несущей способности и деформативности является инженерный метод. При этом используются следующие допущения:

- а) модули упругости древесины при растяжении и сжатии равны;
- б) сечения элемента плоские до деформирования остаются плоскими, и после деформирования.

Положение центра тяжести симметрично усиленного сечения

$$y_c = \frac{h+2x}{2}. \quad (5.12)$$

Площадь усиленной балки:

$$A = (h + 2x) \cdot (b + 2x). \quad (5.13)$$

Площадь балки без усиления

$$A_{др} = b \cdot h. \quad (5.14)$$

Площадь элемента усиления (олигомера)

$$\begin{aligned} A_{снк} &= A - A_{др} = (h + 2x) \cdot (b + 2x) - b \cdot h = \\ &= b \cdot h \left[\left(1 + \frac{2x}{h}\right) \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1 \right] = \\ &= A_{др} \left[\left(1 + \frac{2x}{h}\right) \cdot \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1 \right]. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Коэффициент приведения

$$n = \frac{E_{снк}}{E_{др}}. \quad (5.16)$$

Приведенная площадь поперечного сечения балки с усилением

$$\begin{aligned} A_{пр} &= A_{др} + n \cdot A_{снк} = \\ &= A_{др} + n \cdot A_{др} \left[\left(1 + \frac{2x}{h}\right) \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1 \right]. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Коэффициент армирования

$$\mu = \frac{A_{\text{снк}}}{A_{\text{др}}} = \frac{A_{\text{др}} \left[\left(1 + \frac{2x}{h}\right) \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1 \right]}{A_{\text{др}}} = \left(1 + \frac{2x}{h}\right) \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1. \quad (5.18)$$

Упростим выражение 5.17, подставив μ . Тогда приведенная площадь поперечного сечения балки с усилением примет вид

$$A_{\text{пр}} = A_{\text{др}} (1 + \mu \cdot n). \quad (5.19)$$

Статический момент инерции усиленной балки относительно центральной оси

$$\begin{aligned} S &= (b + 2x) \left(\frac{h}{2} + x\right) \frac{\left(\frac{h}{2} + x\right)}{2} = (b + 2x) \frac{\left(\frac{h}{2} + x\right)^2}{2} = \\ &= \frac{(b+2x)(h+2x)^2}{8}. \end{aligned} \quad (5.20)$$

Статический момент инерции балки без усиления относительно центральной оси

$$S_{\text{др}} = \frac{b \cdot h^2}{8}. \quad (5.21)$$

Статический момент инерции элемента усиления относительно центральной оси

$$\begin{aligned} S_{\text{снк}} &= S - S_{\text{др}} = \frac{(b + 2x)(h + 2x)^2}{8} - \frac{b \cdot h^2}{8} = \\ &= \frac{b \cdot h^2}{8} \left(\frac{8(b + 2x)(h + 2x)^2}{8b \cdot h^2} - 1 \right) = \\ &= S_{\text{др}} \left[\left(1 + \frac{2x}{b}\right) \left(1 + \frac{2x}{h}\right)^2 - 1 \right] = \\ &= S_{\text{др}} \left[(\mu + 1) \cdot \left(1 + \frac{2x}{h}\right) - 1 \right]. \end{aligned} \quad (5.22)$$

Статический момент инерции приведенного сечения балки с усилением относительно центральной оси

$$\begin{aligned} S_{\text{пр}} &= S_{\text{др}} + n \cdot S_{\text{снк}} = S_{\text{др}} + n \cdot S_{\text{др}} \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right) - 1 \right] = \\ &= S_{\text{др}} \left\{ 1 + n \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right) - 1 \right] \right\}. \end{aligned} \quad (5.23)$$

Момент инерции усиленной балки

$$I = \frac{(b+2x)(h+2x)^3}{12}. \quad (5.24)$$

Момент инерции сечения балки без усиления

$$I_{\text{др}} = \frac{b \cdot h^3}{12}. \quad (5.25)$$

Момент инерции элемента усиления

$$\begin{aligned} I_{\text{снк}} &= I - I_{\text{др}} = \frac{(b+2x)(h+2x)^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12} = \\ &= \frac{b \cdot h^3}{12} \left(\frac{(b+2x)(h+2x)^3}{b \cdot h^3} - 1 \right) = I_{\text{др}} \left[\left(1 + \frac{2x}{b} \right) \left(1 + \frac{2x}{h} \right)^3 - 1 \right] = \\ &= I_{\text{др}} \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right)^2 - 1 \right]. \end{aligned} \quad (5.26)$$

Момент инерции приведенного сечения балки с усилением

$$\begin{aligned} I_{\text{пр}} &= I_{\text{др}} + n \cdot I_{\text{снк}} = I_{\text{др}} + n \cdot I_{\text{др}} \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right)^2 - 1 \right] = \\ &= I_{\text{др}} \left\{ 1 + n \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right)^2 - 1 \right] \right\}. \end{aligned} \quad (5.27)$$

Все геометрические характеристики найдены.

Определение опорных и силовых граничных условий.

Работа деревянных конструкций до разрушения делится на три характерные и последовательные стадии напряженно-деформированного состояния: условно-упругая, упруго-пластическая и стадия разрушения [24].

Стадия условно-упругой работы характеризуется величиной деформаций, не превышающих предельных значений упругих деформаций. Стадия упруго-пластической работы характеризуется появлением ощутимых пластических деформаций в сжатых волокнах. Стадия разрушения характеризуется значительным увеличением деформативности, при малом увеличении нагрузки. Происходит разрушение элемента.

Для разработанных усиленных балочных конструкций необходимо выполнить расчет опасных сечений в приопорных зонах. Деревяноклееная балка ($l = 18$ м; $b = 0,24$ м; $h = 1,8$ м), с шарнирным опиранием загружена равномерно-распределенной нагрузкой (q). Обозначение балок, принятое в работе:

- 1) ДКБ – деревяноклееная балка;
- 2) ДКБ_у¹ – деревяноклееная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в один слой ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 0,95$ %);
- 3) ДКБ_у³ – деревяноклееная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в три слоя ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 2,8$ %);
- 4) ДКБ_у⁵ – деревяноклееная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в пять слоев ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 4,7$ %);

(Примечание: l – длина балки; b – ширина балки; h – высота балки; $l_{об}$ – длина усиливающей обоймы, μ – коэффициент армирования).

Методика инженерного расчета приведена для расчетов в условно-упругой стадии работы древесины по I и II группам предельных состояний на основе формул сопротивления материалов.

Максимальная поперечная сила

$$Q = \frac{ql}{2}. \quad (5.28)$$

Максимальные касательные напряжения (τ) в древесине усиленной балки относительно нейтральной оси не должны превышать расчетного сопротивления на скалывание

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{\text{пр}}}{(b + 2x \cdot n) I_{\text{пр}}} \leq R_{\text{ск}}. \quad (5.29)$$

Для не усиленной прямоугольной деревоклееной балки: $S = \frac{b \cdot h^2}{8}$ и $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$. Тогда максимальные касательные напряжения в древесине не усиленной балки относительно нейтральной оси не должны превышать расчетного сопротивления на скалывание

$$\tau = \frac{3Q}{2A_{\text{др}}} \leq R_{\text{ск}}. \quad (5.30)$$

Максимальные напряжения смятия ($\sigma_{\text{см}}$) в древесине в опорной зоне (поверхностное сжатие от опорной реакции) не должны превышать расчетного сопротивления на смятие поперек волокон

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{Q}{A_{\text{оп}}} \leq R_{\text{см } 90}. \quad (5.31)$$

Площадь опирания $A_{\text{оп}}$ для деревоклееной балки

$$A_{\text{оп}} = b \cdot l_{\text{оп}}. \quad (5.32)$$

Площадь опирания $A_{\text{оп}}$ для усиленной деревоклееной балки

$$A_{\text{оп}} = (b + 2x \cdot n) \cdot l_{\text{оп}}, \quad (5.33)$$

где $l_{\text{оп}}$ – длина участка опирания.

Максимальные растягивающие напряжения под углом к волокнам (σ_1) на расстоянии $0,9h$ от опоры [33] не должны превышать расчетного сопротивления при растяжении под углом к волокнам

$$\sigma_1 = 0,5 \left[\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] \leq R_{\text{р}\alpha}, \quad (5.34)$$

где σ_1 – главные растягивающие напряжения;

σ_x – нормальные напряжения вдоль волокон;

σ_y – нормальные напряжения поперек волокон;

τ_{xy} – скалывающие напряжения;

$R_{\text{р}\alpha}$ – расчетное сопротивление древесины под углом α к направлению волокон.

Численными исследованиями выявлены значения σ_1 по высоте сечения балок. Максимальные растягивающие напряжения под углом к волокнам возникают в точке, находящейся на высоте $\approx \frac{1}{3}h$.

Угол наклона α направления главного растягивающего напряжения определяется по формулам

$$\text{при } \sigma_x - \sigma_y > 0 \quad \alpha = 0,5 \arctan\left(\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_y - \sigma_x}\right); \quad (5.35)$$

$$\text{при } \sigma_x - \sigma_y = 0 \quad \alpha = 45^\circ; \quad (5.36)$$

$$\text{при } \sigma_x - \sigma_y < 0 \quad \alpha = 0,5 \left(180^\circ - \arctan\left(\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_y - \sigma_x}\right)\right). \quad (5.37)$$

По результатам инженерного расчета построены зависимости: «нагрузка – касательные напряжения» (рис. 5.5), «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» (рис. 5.6), «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» (рис. 5.7).

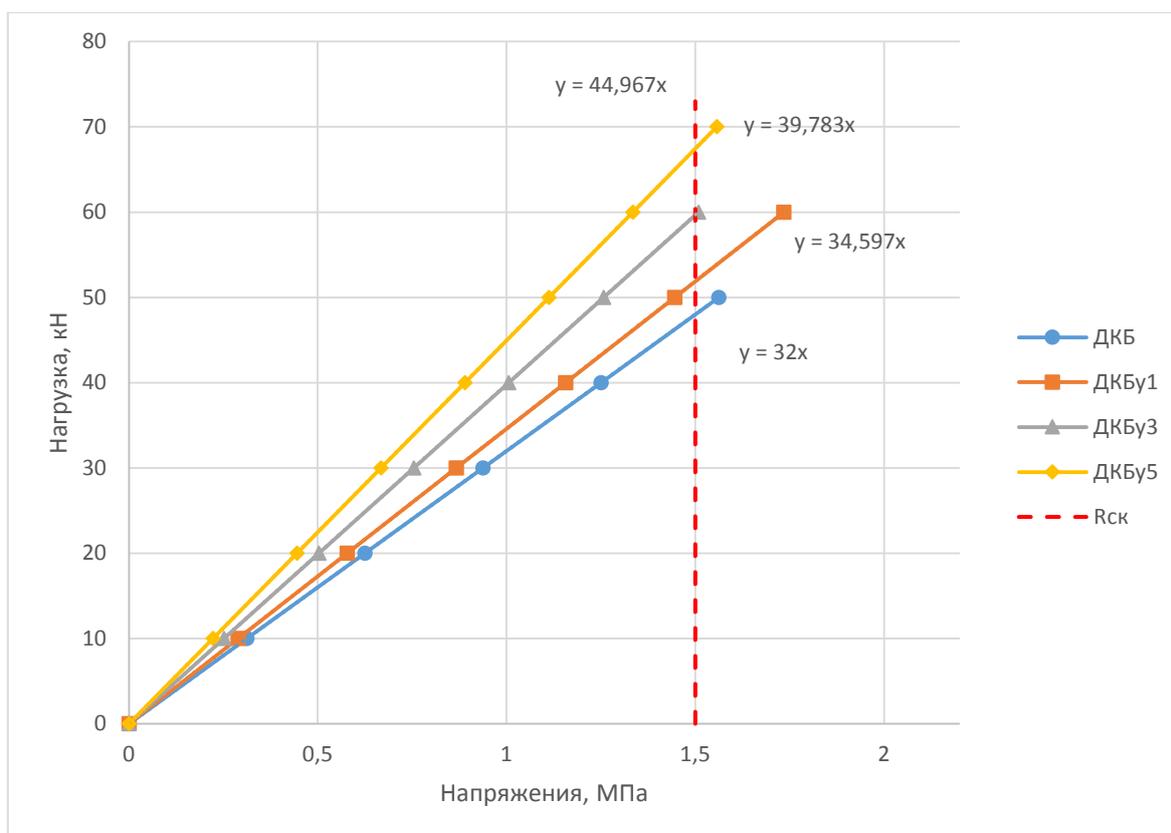


Рис. 5.5. Зависимость «нагрузка – касательные напряжения» для клееной балки (инженерный расчет)

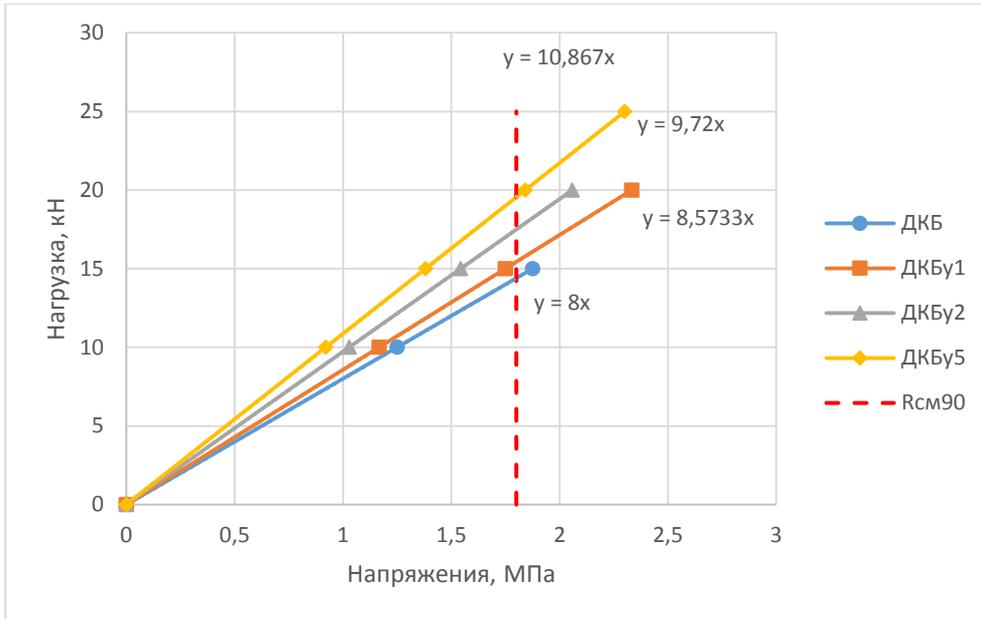


Рис. 5.6. Зависимость «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» для деревоклееной балки (инженерный расчет)

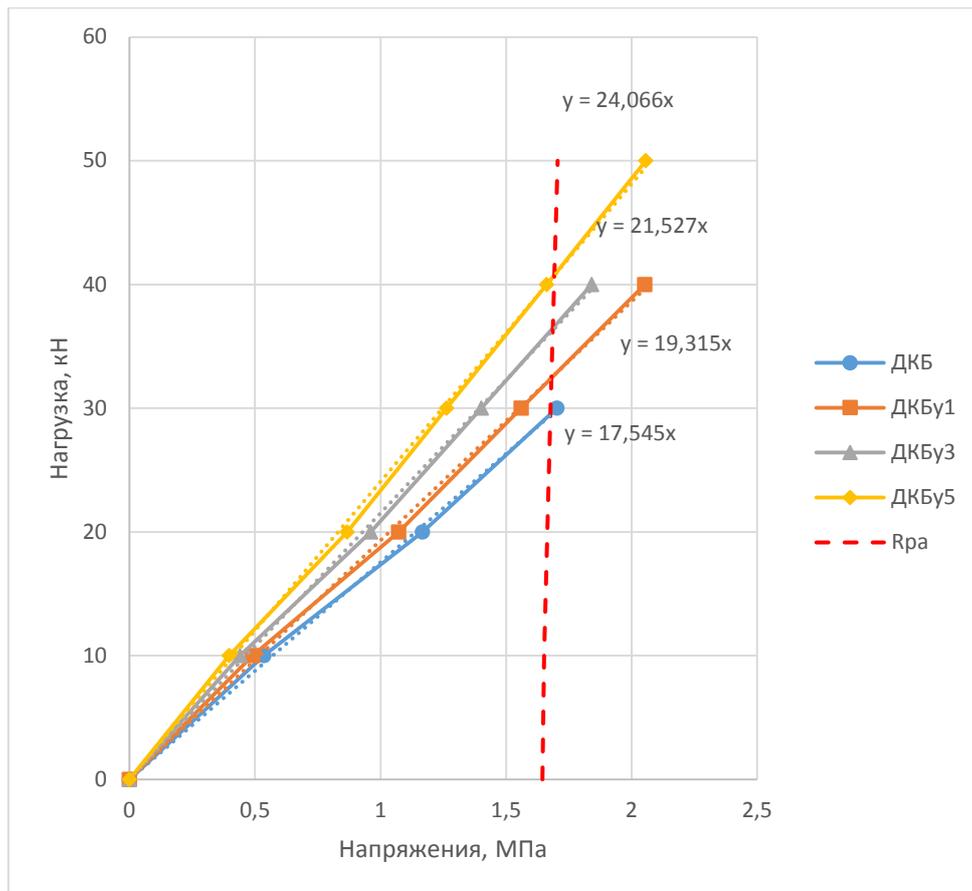


Рис. 5.7. Зависимость «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» для деревоклееной балки (угол $\alpha \approx 24^\circ \dots 25^\circ$) (инженерный расчет)

Численные исследования деревоклееных балочных конструкций проведены в программном комплексе (ПК) «ЛИРА 9.6.» во всех стадиях работы древесины, от условно-упругой до разрушения. Реализованный метод расчета в ПК – метод конечных элементов (МКЭ). Численный метод расчета в ПК ЛИРА можно разбить на несколько последовательных шагов-операций:

1. ЭТАП. Создание новой задачи с шестью степенями свободы в узле.
2. ЭТАП. Геометрическое построение объекта.
 - 2.1. Задание узловых точек поперечного сечения деревянной балки (ширина, высота) в осях YOZ .
 - 2.2. Задание узловых точек поперечного сечения элемента усиления (толщина, высота) в осях YOZ .
 - 2.3. Добавление контуров и сетки узлов, отдельных для балки и элемента усиления (триангуляция контуров). Поперечное сечение разбивается на прямоугольные или треугольные конечные элементы с наименьшим шагом, позволяющим в результате подробно определить напряжения в каждом контуре элемента.
 - 2.4. Согласование местных осей пластин (ось $X1$ в плоскости $XOZ+$).
 - 2.5. Создание объемного тела путем перемещения образующей вдоль оси X на длину балки для пластин древесины и на длину обоймы для пластин элемента усиления. Все расстояния вдоль оси X разбиваются с шагом, принятым в п. 2.3. После создания объемного тела пластины, созданные в п. 2.1. и 2.2. удаляются.
 - 2.6. Сшивка совпадающих узлов (упаковка схемы).
3. ЭТАП. Задание граничных условий конструкции.
 - 3.1. Определение узлов опирания конструкции в плоскости XOZ (длина, высота).
 - 3.2. Задание связей в выбранных узлах (балка на двух шарнирных опорах). С одного конца балки назначаются связи по осям XYZ (шарнирно неподвижная опора), с другого конца связи по осям YZ (шарнирно подвижная опора).
4. ЭТАП. Задание жесткостных характеристик элементов.

4.1. Задание жесткости для объемного конечного элемента (КЭ) древесины.

4.1.1. При линейном расчете.

Задание типа жесткости для объемного КЭ – 36 (универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ). Задание плотности ($R_0 = 500 \text{ кг/м}^3$) и механических констант с учетом ортотропии:

- Модули Юнга – $E = 10000 \text{ МПа}$; $E_2 = 400 \text{ МПа}$;
 $E_3 = 10000 \text{ МПа}$.
- Коэффициенты Пуассона – $V = V_{13} = V_{31} = V_{32} = 0,45$;
 $V_{21} = V_{23} = 0,02$.
- Модули сдвига – $G_{12} = G_{13} = G_{23} = 500 \text{ МПа}$.

4.1.2. При нелинейном расчете.

Задание типа жесткости для объемного КЭ – 236 (физически нелинейный универсальный пространственный 8-узловой изопараметрический КЭ). Задание плотности ($R_0 = 500 \text{ кг/м}^3$) коэффициента Пуассона $V = 0,45$ и параметров материала с учетом нелинейности.

Для основного материала выбирается закон нелинейного деформирования – 14 (кусочно-линейный закон деформирования). Параметры закона при предварительном расчете описываются приведенной диаграммой Белянкиа-Прагера [29]. После проведения экспериментальных исследований на стандартных образцах, закон корректируется согласно полученной при испытании диаграммы «напряжения-деформации».

Для основного материала учитывается ползучесть, выбирается закон – 44 (кусочно-линейный закон ползучести). Параметры закона описываются диаграммой «деформация-время» (кривая длительного сопротивления для сосны).

4.2. Задание жесткости для объемного конечного элемента (КЭ) клеевого олигомера.

Задание типа жесткости для объемного КЭ – 36 (универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ). Задание плотности ($R_0 = 3680 \text{ кг/м}^3$) и механических констант с учетом ортотропии:

Модули Юнга – $E = 86000 \text{ МПа}$; $E_2 = 55000 \text{ МПа}$;
 $E_3 = 86000 \text{ МПа}$.

Коэффициенты Пуассона – $V = V_{13} = V_{31} = V_{32} = 0,34$;

$$V_{21} = V_{23} = 0,25.$$

Модули сдвига – $G_{12} = G_{13} = G_{23} = 30000$ МПа.

5. ЭТАП. Задание нагрузок на узлы и элементы.

- 5.1. Задание нагрузки, равной 1/10 от разрушающей нагрузки, в первом загрузении (ступенчатое нагружение). Нагрузка задается на КЭ в направлении оси Z, распределенная по всему объему.
- 5.2. Первое загрузение копируется в загрузение № 2...10 с коэффициентом преобразования 2...10 соответственно.
- 5.3. Задание собственного веса усиленной деревоклееной конструкции на все элементы с коэффициентом надежности по нагрузке 1,1 для древесины и 1,2 для клеевой композиции во всех загрузениях.
- 5.4. При нелинейном расчете необходимо задать «моделирование нелинейных загрузений конструкций». Каждое из десяти загрузений разбивается на четыре равномерных шага с максимальным числом итераций 300 (шагово-итерационный расчет). В загрузениях указывается ползучесть «120 240 360 480 730».

6. ЭТАП. Выполнение расчета.

7. ЭТАП. Визуализация и анализ результатов.

- 7.1. Отображение деформированной схемы конструкции.
- 7.2. Отображение картины распределения усилий (изополя напряжений).
- 7.3. Отображение перемещений узлов и контуров конструкции (изополя перемещений).
- 7.4. Анализ напряженного состояния конкретных областей опорных зон путем их фрагментации.

Расчет проводился с учетом физической нелинейности материала древесины.

На рис. 5.8-5.12 приведены изополя распределения напряжений в деревоклееных балочных конструкциях. На рис. 5.13 и 5.14 представлены зависимости работы деревоклееных балок с учетом ползучести. По результатам численного расчета построены зависимости: «нагрузка – касательные напряжения» (рис. 5.15), «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» (рис. 5.16), «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» (рис. 5.17).

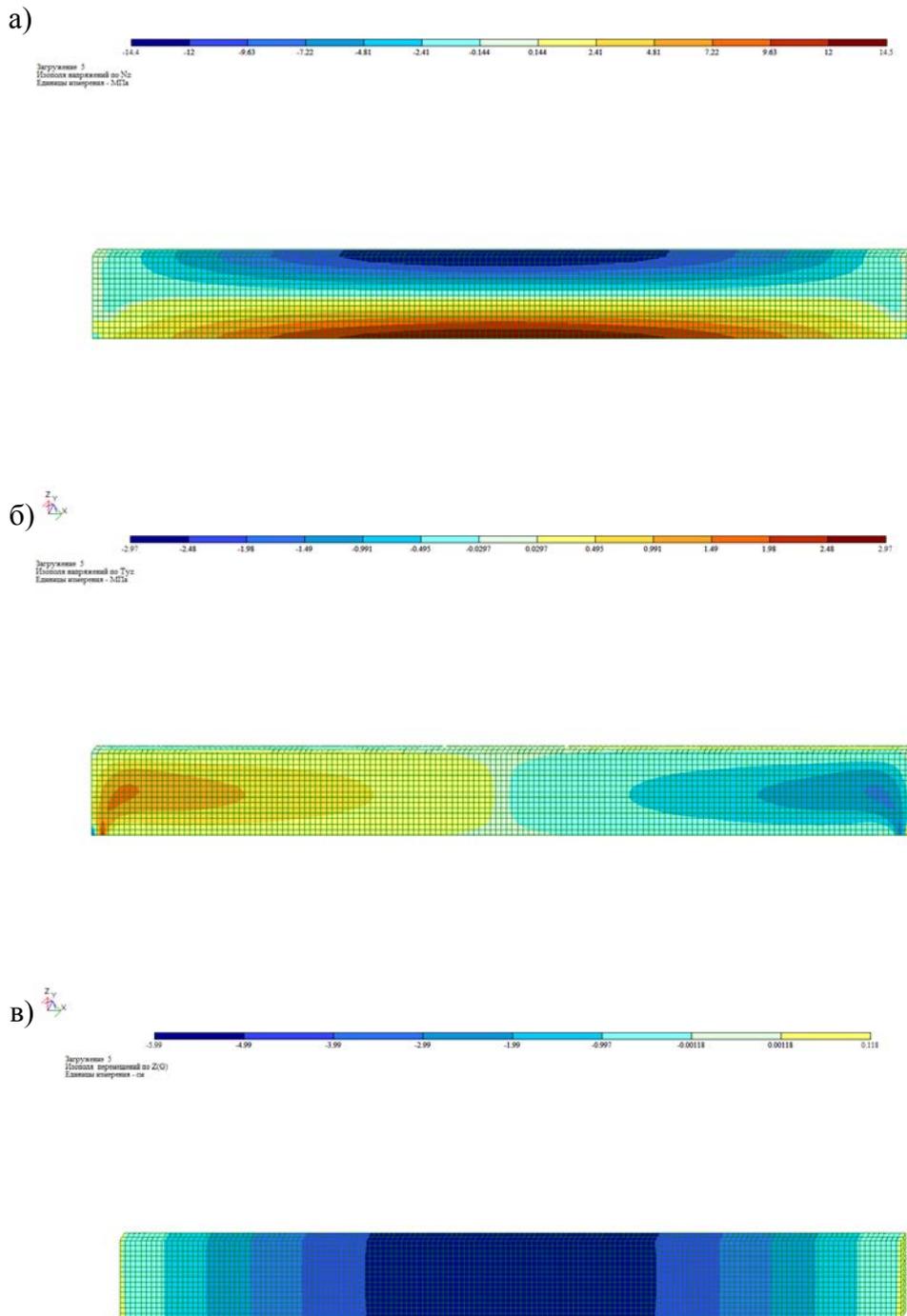
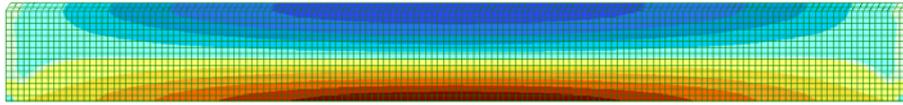
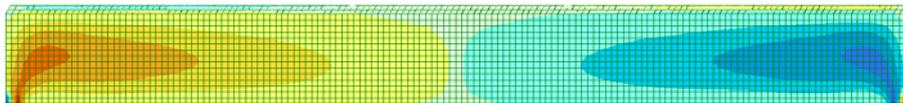


Рис. 5.8. Балка марки ДКБ (линейный расчет).
 а – Изополя нормальных напряжений, МПа; б – Изополя касательных напряжений, МПа; в – Изополя перемещений, мм

а)



б)



в)



Рис. 5.9. Балка марки ДКБ (нелинейный расчет).
а – Изоплюсы нормальных напряжений, МПа; б – Изоплюсы касательных напряжений, МПа; в – Изоплюсы перемещений, мм

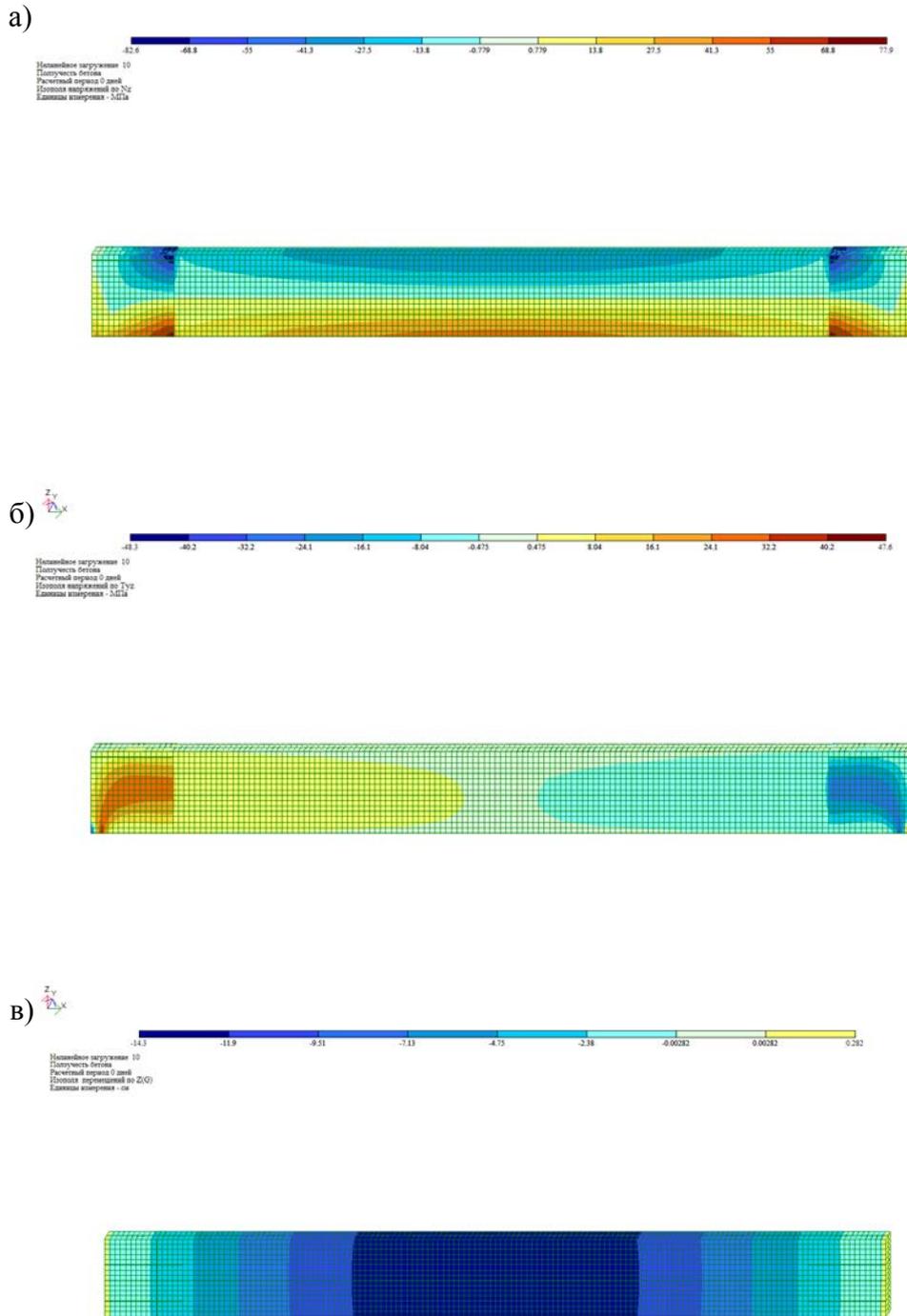


Рис. 5.10. Балка марки ДКБу¹. а – Изоплюя нормальных напряжений, МПа; б – Изоплюя касательных напряжений, МПа; в – Изоплюя перемещений, мм

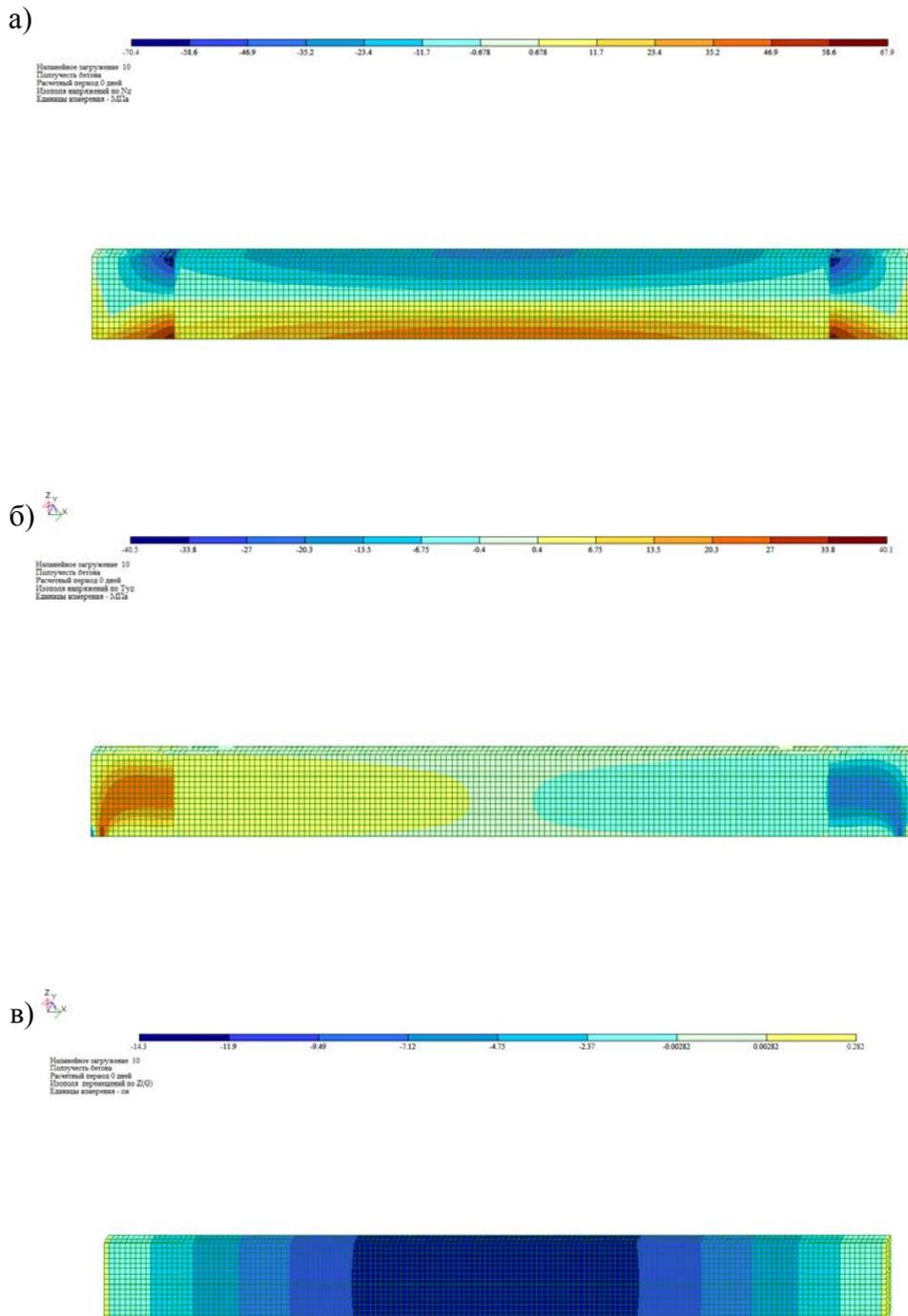


Рис. 5.11. Балка марки ДКБу³. а – Изоплюя нормальных напряжений, МПа; б – Изоплюя касательных напряжений, МПа; в – Изоплюя перемещений, мм

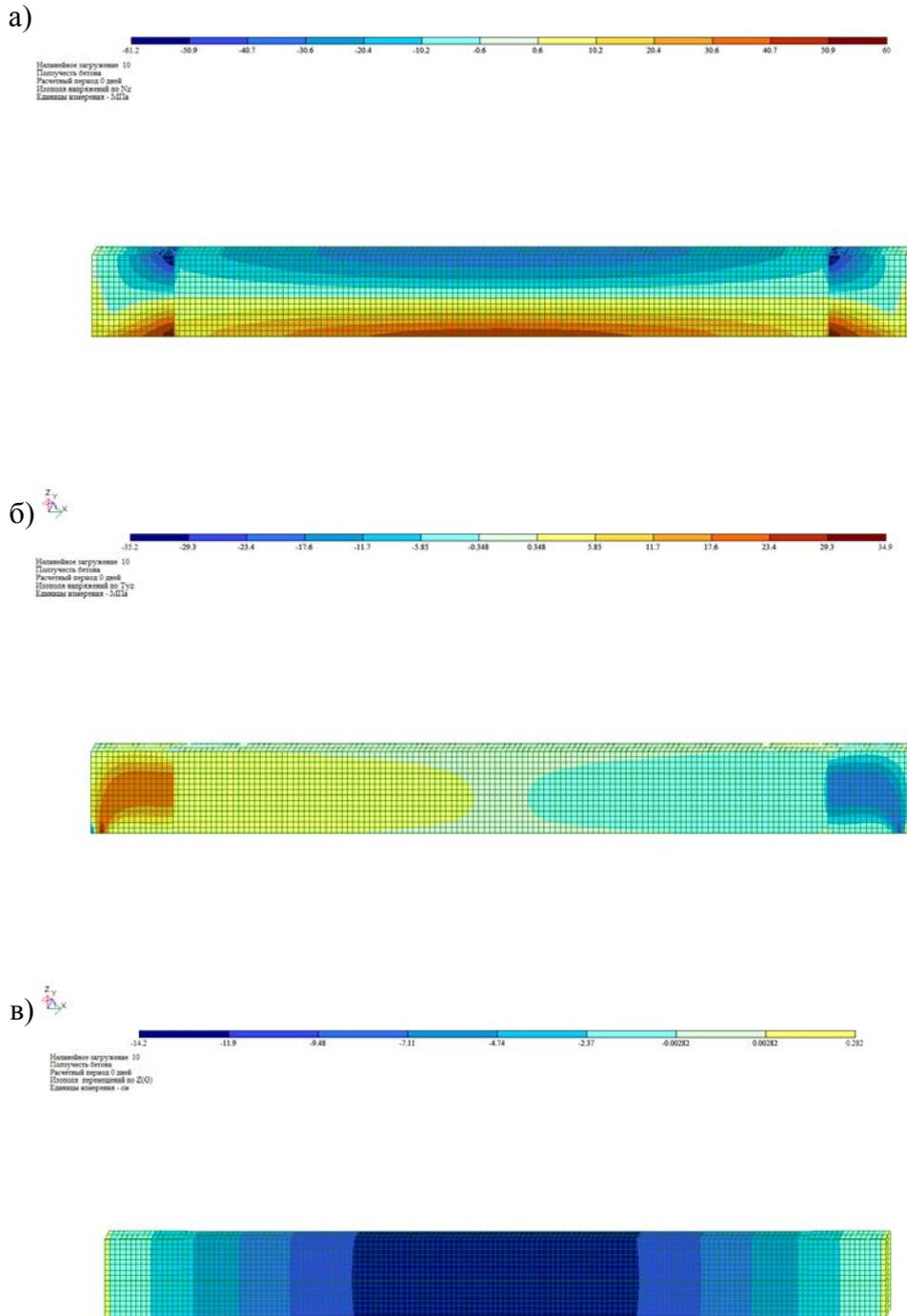


Рис. 5.12. Балка марки ДКБу⁵. а – Изоплюя нормальных напряжений, МПа; б – Изоплюя касательных напряжений, МПа; в – Изоплюя перемещений, мм

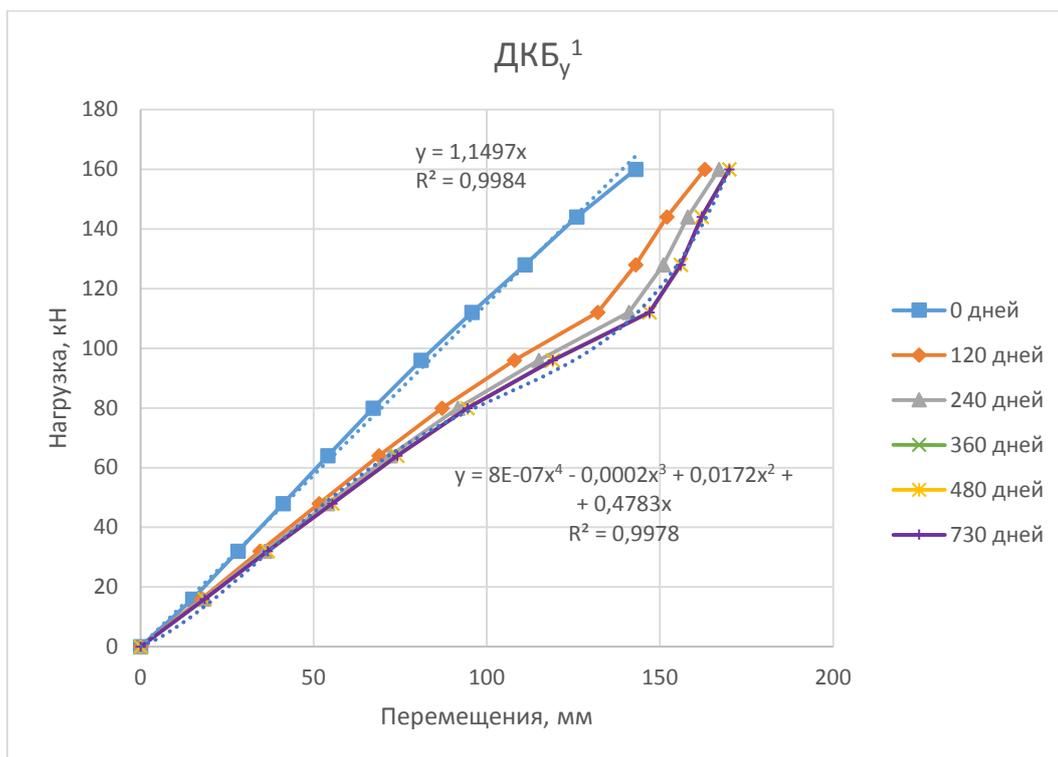
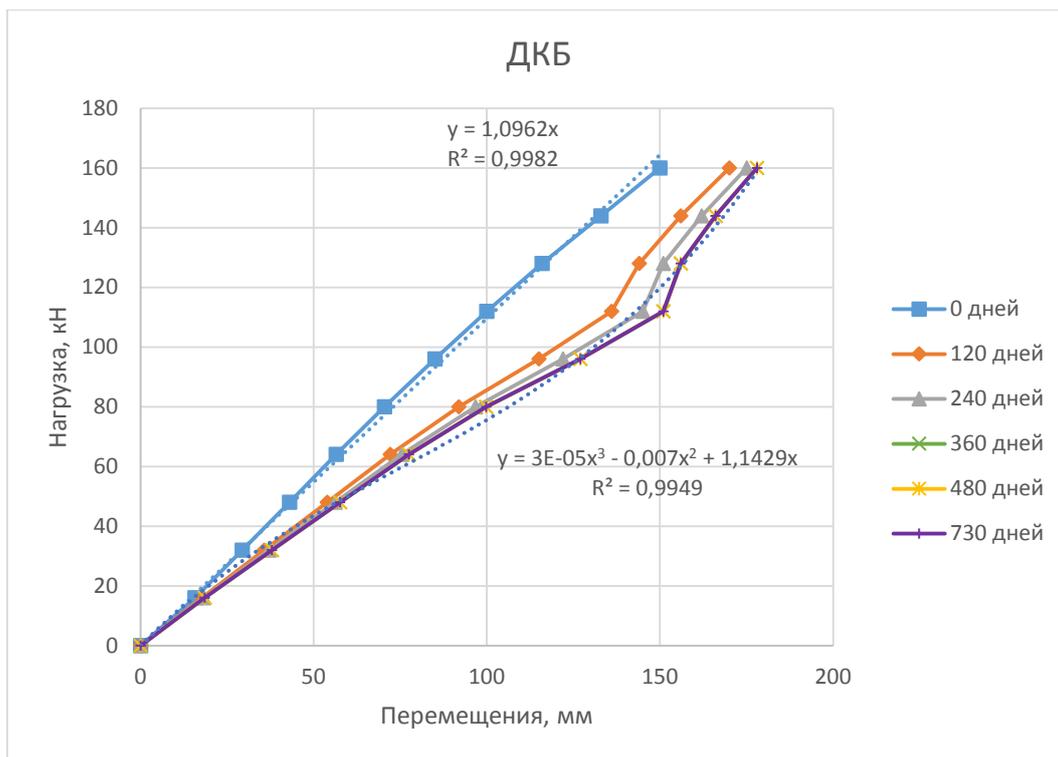


Рис. 5.13. Зависимость «нагрузка – перемещения» во времени (ДКБ, ДКБ_y¹)

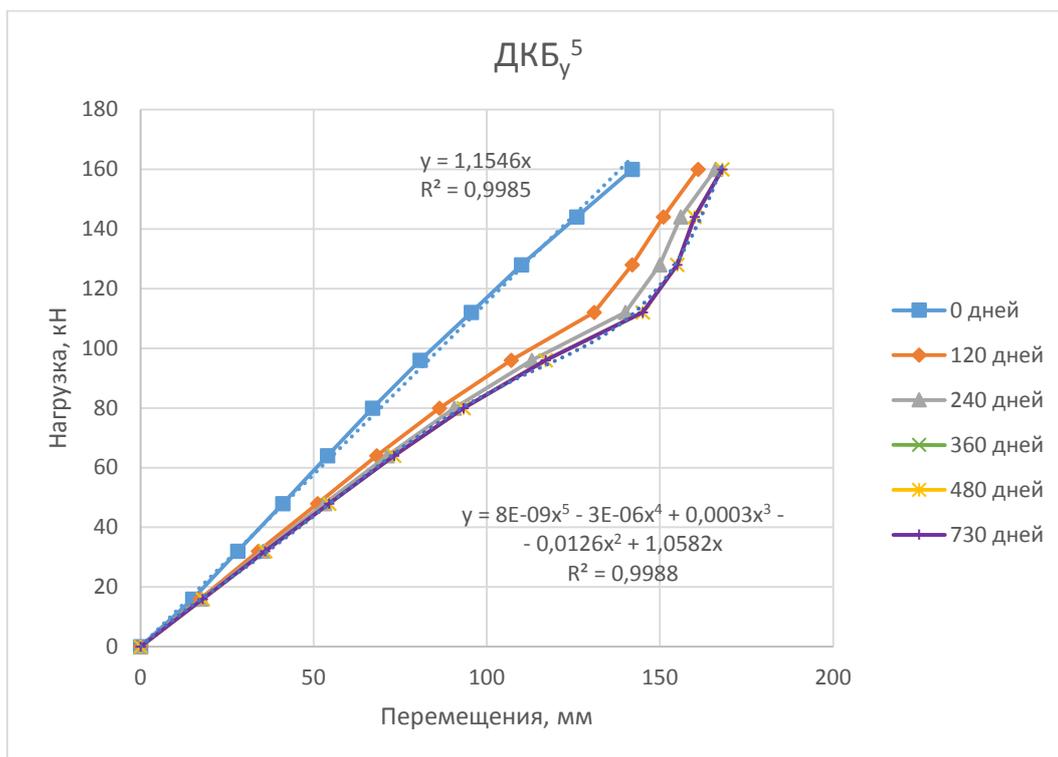
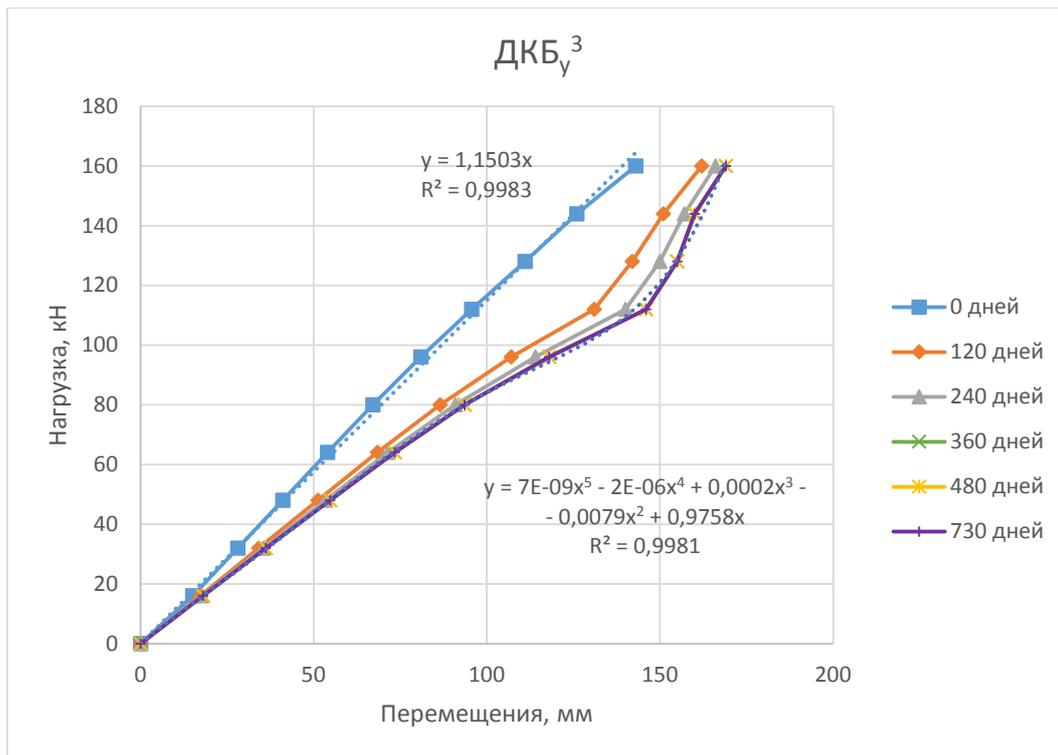


Рис. 5.14. Зависимость «нагрузка – перемещения» во времени (ДКБ_y³, ДКБ_y⁵)

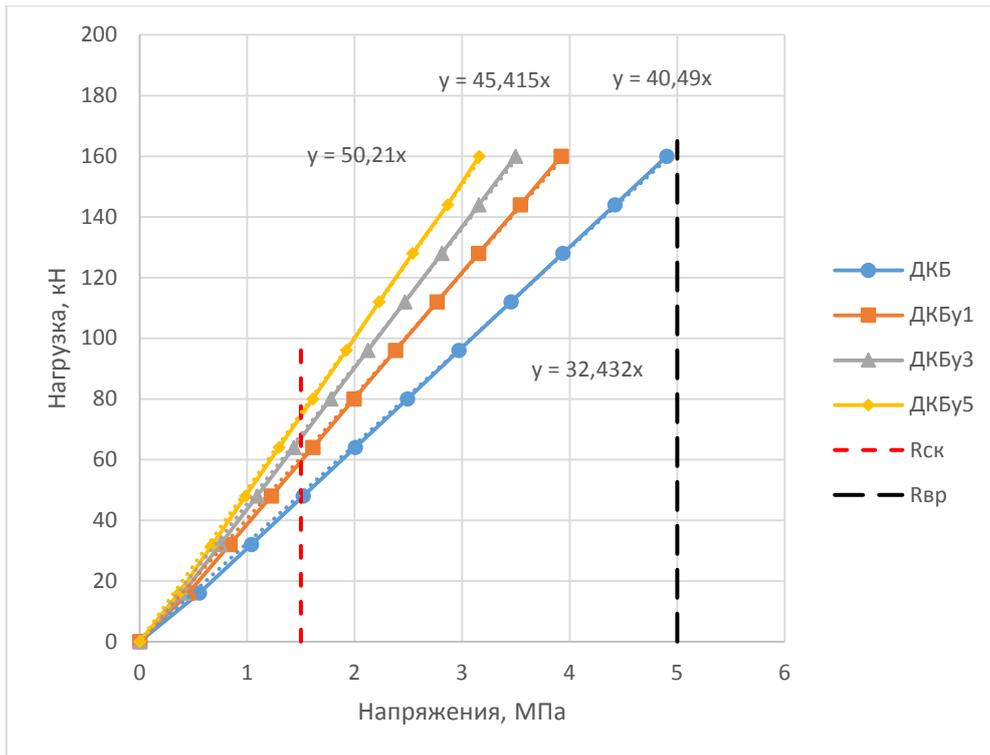


Рис. 5.15. Зависимость «нагрузка – касательные напряжения» для деревоклееной балки (численные исследования)

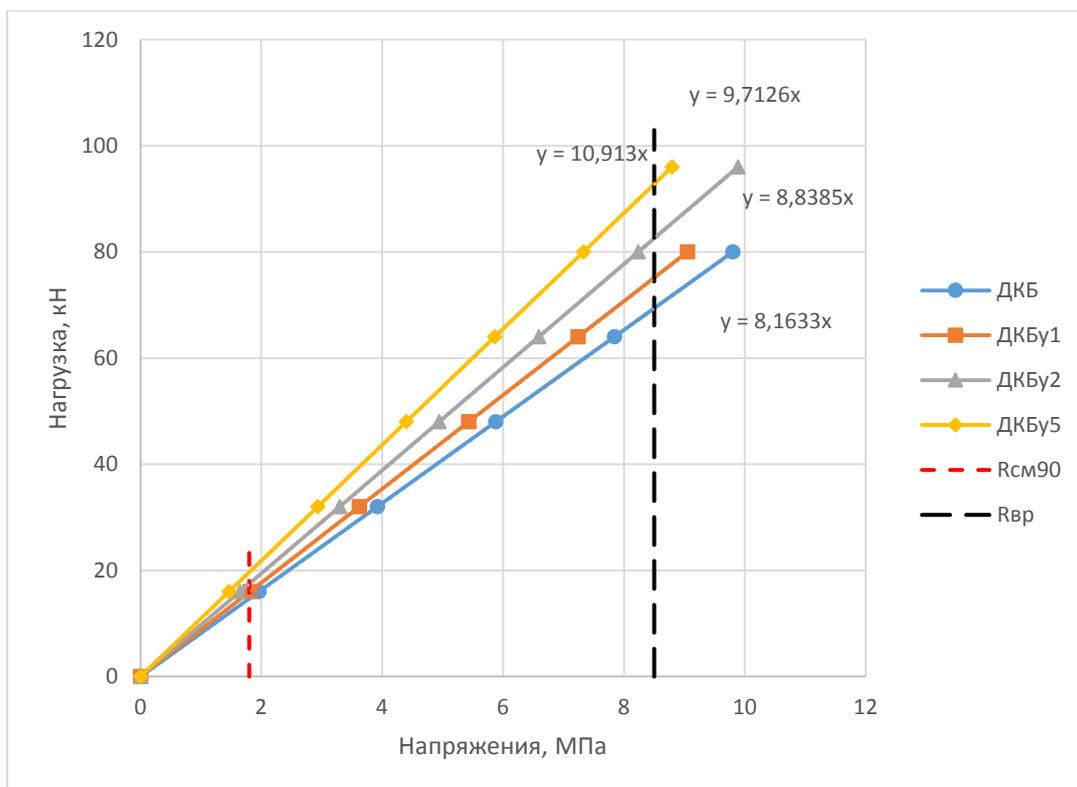


Рис. 5.16. Зависимость «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» для деревоклееной балки (численные исследования)

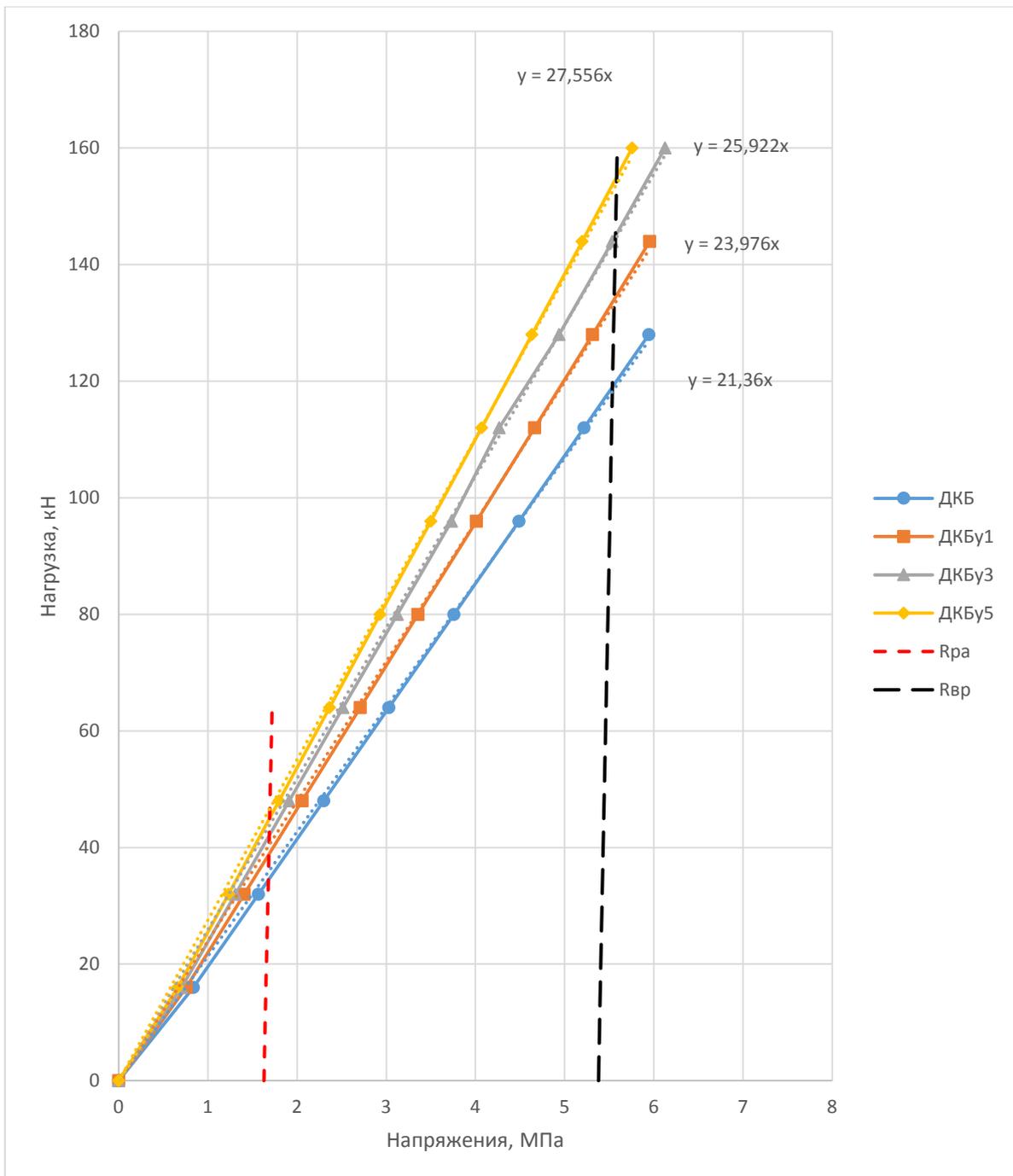


Рис. 5.17. Зависимость «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» для деревоклееной балки (угол $\alpha \approx 24^\circ \dots 25^\circ$) (численные исследования)

Результаты численного исследования отражены в выводах.
В третьей главе приведены педагогические приемы и методики, разработанные в выпускной квалификационной работе.

Результаты работы ВКР могут быть применены в обучении студентов (академических бакалавров) по направлению 08.03.01 «Строительство» для профилей «Проектирование зданий» и «Промышленное и гражданское строительство», дисциплина «Конструкции из дерева и пластмасс» (7-8 семестры обучения).

На лекционных занятиях могут быть рассмотрены вопросы, связанные с теоретической частью ВКР. Рекомендуется отвести на это не менее одной лекции, которую, условно, можно разбить на три основные части: компоновка поперечных сечений деревянных и клееных балок; опыт усиления опорных участков балок. Применение наноиндустрии в деревянных конструкциях, физические модели деревянных и деревокомпозитных конструкций.

На практических занятиях могут быть рассмотрены вопросы, связанные с практической частью ВКР. Рекомендуется отвести на это не менее одного практического занятия, где будет рассмотрен инженерный расчет на конкретных примерах.

В качестве самостоятельной работы студент (СРС) может рассчитать балку конкретного сечения по своему варианту в ПК «ЛИРА 9.6.», по алгоритму, описанному в ВКР.

Вопросы, связанные с данным исследованием, могут быть внесены в список вопросов к экзамену или зачету.

Во время обучения в магистратуре (в третьем семестре) мною была пройдена педагогическая практика в объеме 216 часов, в процессе которой совместно с профессором кафедры «Строительные конструкции», к.т.н. Смирновым Е.А. были составлены методические указания к практическим занятиям и вопросы к тестированию студентов на рейтинг-контролях.

6. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

а) ВКР оформляется в точном соответствии с данным Учебным пособием к выполнению выпускной квалификационной работы магистра и Регламентом оформления выпускных квалификационных работ по основным профессиональным программам высшего образования федерального государственного бюджетного образовательного учре-

ждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). К защите принимаются только сброшюрованные работы, напечатанные с использованием компьютера и принтера.

б) Выпускная квалификационная работа магистра печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм). Исключение составляет задание на ВКР, которое печатается с двух сторон листа.

Набор текста ВКР осуществляется с использованием текстового редактора Microsoft Word. При этом в основном тексте необходимо использовать шрифт Times New Roman размером 14 пт. Количество знаков в строке должно составлять 60-70 шт., межстрочный интервал должен составлять 18 пт (1,5 машинописных интервала), количество текстовых строк на странице - 39-40 шт. Выравнивание основного текста работы – по ширине страницы. Абзацный отступ – 12-17 мм. Устанавливаются следующие размеры полей: верхнего и нижнего – 20 мм, левого – 30 мм, правого – 10 мм.

Шрифт печати должен быть прямым, светлого начертания, четким, черного цвета, одинаковым по всему объему текста ВКР. Разрешается использовать разное начертание шрифта: курсивное, полужирное, курсивное полужирное.

в) Объем выпускной квалификационной работы магистра должен быть – 80-110 страниц. Приложения при подсчете объема выпускной квалификационной работы магистра не учитываются.

г) Текст основной части выпускной квалификационной работы магистра делят на главы, подглавы, разделы и подразделы.

Заголовки структурных частей ВКР «АННОТАЦИЯ», «СОДЕРЖАНИЕ», «ПЕРЕЧЕНЬ ТЕРМИНОВ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ», «ВВЕДЕНИЕ», «ГЛАВЫ», «ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ», печатают прописными буквами в середине строк, используя полужирный шрифт высотой 14 пт. Нумерация глав дается арабскими цифрами без знака «№». Заголовки приложений печатают с заглавной буквы в середине строки, не выделяя его полужирным шрифтом, размером 14 пт.

Заголовки подглав, разделов и подразделов печатают строчными буквами (кроме первой прописной) с абзацного отступа полужирным шрифтом с размером 14 пт. Подглавы нумеруют в пределах каждой

главы. Номер подглавы состоит из номера главы и порядкового номера подглавы, разделенных точкой, например, «2.3» (третья подглава второй главы). Разделы нумеруют в пределах каждой подглавы. Номер раздела состоит из порядковых номеров главы, подглавы и раздела, разделенных точками, например, «1.3.2» (второй раздел третьей подглавы первой главы). Подразделы нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер пункта состоит из порядковых номеров главы, подглавы, раздела и подраздела, разделенных точками, например, «4.1.3.2» (второй подраздел третьего раздела первой подглавы четвертой главы). В конце нумерации глав, подглав, разделов, подразделов, а также их заголовков точку не ставят. Если заголовок состоит из двух или более предложений, их разделяют точкой (точками).

Внутри подглав основной текст можно разделить на отдельные информативные части, отступив одну строку от текста и выделив название информативной части полужирным шрифтом с курсивом, высота шрифта – 14 пт. Выравнивание заголовка информативной части – по центру, вносить их в содержание ВКР не надо.

д) Расстояние между заголовком и текстом должно составлять 2-2,5 см. Если между двумя заголовками (главы и подглавы) текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается в 1,5-2 см. Расстояние между основным текстом и следующим заголовком – 2-2,5 см. Схематичное расположение заголовков относительно основного текста представлено на рис. 6.1.

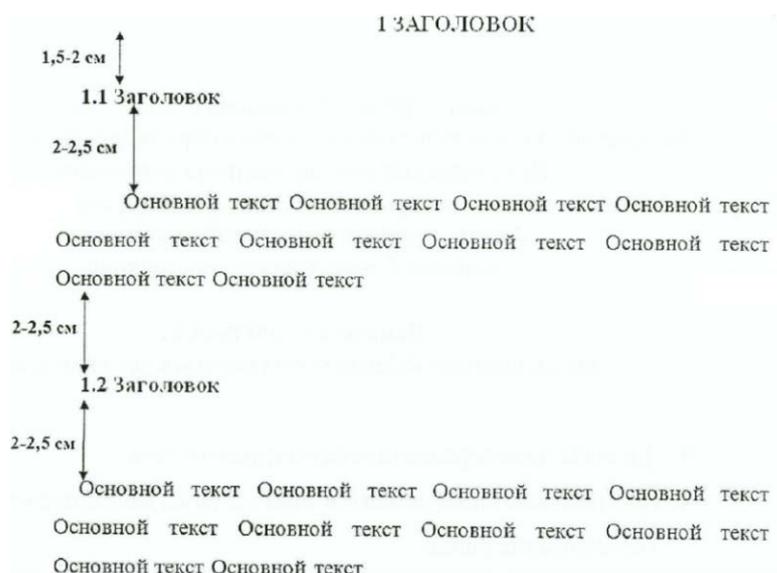


Рис. 6.1. Схематичное расположение заголовков относительно основного текста

Каждую главу выпускной квалификационной работы магистра следует начинать с нового листа.

е) Нумерация страниц дается арабскими цифрами в правом нижнем углу. Первой страницей выпускной квалификационной работы магистра является титульный лист, вторая и третья страница – задание на ВКР, их включают в общую нумерацию страниц работы. На титульном листе и листе задания на ВКР номер страницы не ставят.

ж) Внутри глав, подглав, разделов и подразделов могут быть приведены перечисления, которые записываются с абзацного отступа. Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис, а при необходимости ссылки в тексте ВКР на один из элементов перечисления вместо дефиса ставятся строчные буквы в порядке русского алфавита, начиная с буквы «а» (за исключением букв ё, з, й, о, ч, ь, ы, ь). Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа. Примеры оформления списков представлен на рис. 6.2.

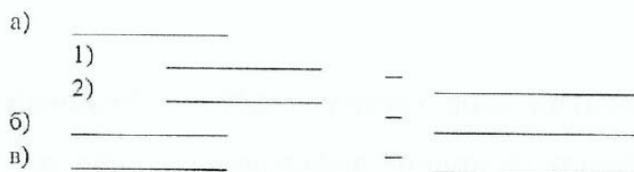


Рис. 6.2. Примеры оформления списков

и) Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку и располагать посередине, высота текста – 14 пт, межстрочный интервал -1,5. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если формула не умещается в одну строку, то она должна переноситься после знака, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «×». Пояснение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой с обязательным обозначением единиц измерения после запятой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой

символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должно начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Если формула не требует пояснений, то в конце нее надо ставить точку, если требуются пояснения, то ставится запятая. Высота текста пояснений – 12 пт, межстрочный интервал – 1,0.

Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложениях, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы в крайнем положении справа в круглых скобках. Допускается нумерация формул внутри глав. В этом случае номер формулы состоит из номера главы и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (3.1).

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, ... в формуле (1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например, формула (В.1).

Формула должна включать в себя: искомую величину, буквенное обозначение, цифровое обозначение, полученное число и единицы измерения. Пример оформления формулы:

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{2 \cdot 3}{2} = 3 \text{ кН}, \quad (6.1)$$

где Q – поперечная сила, кН;

q – равномерно-распределенная нагрузка, кН/м;

l – длина элемента, м.

Все единицы измерения, встречающиеся в ВКР, необходимо писать через пробел после их цифровых показателей.

к) Таблицу следует располагать в ВКР непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера. Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее или на следующей странице, а при необходимости в приложении к документу.

Все таблицы должны иметь название и порядковую нумерацию. Таблицы нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией в пре-

делах всей работы (за исключением таблиц приложений). Номер таблицы следует проставлять в левом верхнем углу после слова «Таблица», без знака «№», например, Таблица 1. Допускается нумеровать таблицы в пределах главы. В этом случае номер таблицы состоит из номера главы и порядкового номера таблицы, разделенных точкой, например Таблица 1.1.

В приложениях таблицы обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например Таблица В.1, если она приведена в приложении «В».

Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Наименование таблиц следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире. В конце названия таблицы точку не ставят.

Таблицы выравнивают по центру страницы. Выше и ниже каждой таблицы должно быть оставлено не менее одной пустой строки.

Высота текста названия таблицы и ее содержимого – 12 пт, межстрочный интервал -1,0. Внутри таблицы выравнивание текста выполняется по желанию магистранта и его научного руководителя, кроме заголовка таблицы, где выравнивание выполняется строго по центру столбца.

В каждой таблице следует указывать единицы измерения. Заголовки и подзаголовки граф и строк таблицы необходимо писать с прописной буквы. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точку не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе. Разделять заголовки и подзаголовки диагональными линиями не допускается.

Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк. Пустые ячейки при оформлении таблиц не допускаются.

Все цифровые данные, относящиеся к конкретному показателю или характеристике, должны быть выполнены с советующем округлением. Например, если показатели предела прочности во всех случаях имеют целое значение, кроме двух, в которых имеются десятые доли, то необходимо у целых значений указать после запятой необходимое количество нулей.

Пример оформления таблицы в ВКР:

Таблица 6.1 – Основные свойства стеклотканей

Показатель	Марка исходного стекла				
	А	С	Е	S	Кварцевое
Плотность, кг/м ³	2500	2490	2540	2480	2210
Предел прочности при растяжении (при 22 °С), ГПа	3,0	3,0	3,5	4,6	6,0
Модуль упругости при растяжении (при 22 °С), ГПа	74	69	72	86	75
Коэффициент линейного расширения, К ⁻¹	8,6	7,2	5,0	5,6	0,55
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	-	-	10,4	-	14,2
Удельная теплоемкость, кДж/кг	-	0,89	0,83	0,74	0,90
Объемное электрическое сопротивление (при 22 °С), Ом·м	10 ¹⁵	-	10 ¹⁷	10 ¹⁸	10 ²¹

Таблицу с большим числом строк, или таблицу, чьи строки не умещаются на данной странице, допускается переносить на другую страницу. При переносе части таблицы на другой лист слово «Таблица», ее номер и наименование указывают один раз над первой частью таблицы, а над другими частями слева пишут «Продолжение таблицы» и указывают номер таблицы. При разделении таблицы необходимо в ее продолжении на следующей странице продублировать заголовки и подзаголовки таблицы, либо ввести строку, с нумерацией каждого столбца арабской цифрой, чтобы при переносе дублировать только цифры. Перенос таблицы допускается только в том случае, если на первой и последующих страницах помимо заголовков и подзаголовков таблицы располагается хотя бы одна строка таблицы.

Примеры оформления таблицы с переносом в ВКР:

Таблица 6.2 – Основные свойства стеклотканей

Показатель	Марка исходного стекла				
	А	С	Е	S	Кварцевое
1	2	3	4	5	6
Плотность, кг/м ³	2500	2490	2540	2480	2210

Продолжение таблицы 6.2

Показатель	Марка исходного стекла				
	А	С	Е	S	Кварцевое
Предел прочности при растяжении (при 22 °С), ГПа	3,0	3,0	3,5	4,6	6,0
Модуль упругости при растяжении (при 22 °С), ГПа	74	69	72	86	75
Коэффициент линейного расширения, К ⁻¹	8,6	7,2	5,0	5,6	0,55
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	-	-	10,4	-	14,2
Удельная теплоемкость, кДж/кг	-	0,89	0,83	0,74	0,90
Объемное электрическое сопротивление (при 22 °С), Ом·м	10 ¹⁵	-	10 ¹⁷	10 ¹⁸	10 ²¹

При необходимости следует давать пояснения или справочные данные к содержанию таблицы в виде примечаний, которые приводят непосредственно под ними. Если примечание одно, то после слова «Примечание», написанного с абзацного отступа, ставится тире и с прописной буквы излагается примечание. В случае нескольких примечаний каждое из них печатается с новой строки с абзацного отступа и нумеруется арабскими цифрами. Слово «Примечания» и их содержание печатаются шрифтом 12 пт с межстрочным интервалом – 1,0.

л) Графический материал (схемы, диаграммы, фотографии, чертежи и т.п.) и подпись к нему выравнивают по центру. Высота текста подписи – 12 пт, межстрочный интервал – 1,0.

Весь графический материал, расположенный по тексту работы (не включая приложения), следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Номер графического материала следует про- ставлять после слова «Рисунок», без знака «№», например Рисунок 1. Допускается нумеровать графический материал в пределах главы. В этом случае номер графического материала состоит из номера главы и порядкового номера графического материала, разделенных точкой, например Рисунок 1.1.

В приложениях графический материал обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например Рисунок В.1, если он приведен в приложении «В». Название графического материала приводят сразу после названия через тире.

Весь графический материал располагают в работе после текста, имеющего на него ссылку, или на следующей странице. В тексте ВКР необходимо давать ссылку на графический материал следующим образом:

– непосредственно в тексте, например, «Виды переплетений стеклотканей представлены на рисунке 6.3.»;

– в круглых скобках внутри предложения, например, «Виды переплетений стеклотканей (см. рисунок 6.3) очень разнообразны.»

Выше и ниже каждого графического материала должно быть оставлено не менее одной свободной строки.

В графическом материале необходимо использовать шрифт текста, как и в основной работе ВКР.

Пример оформления рисунка:

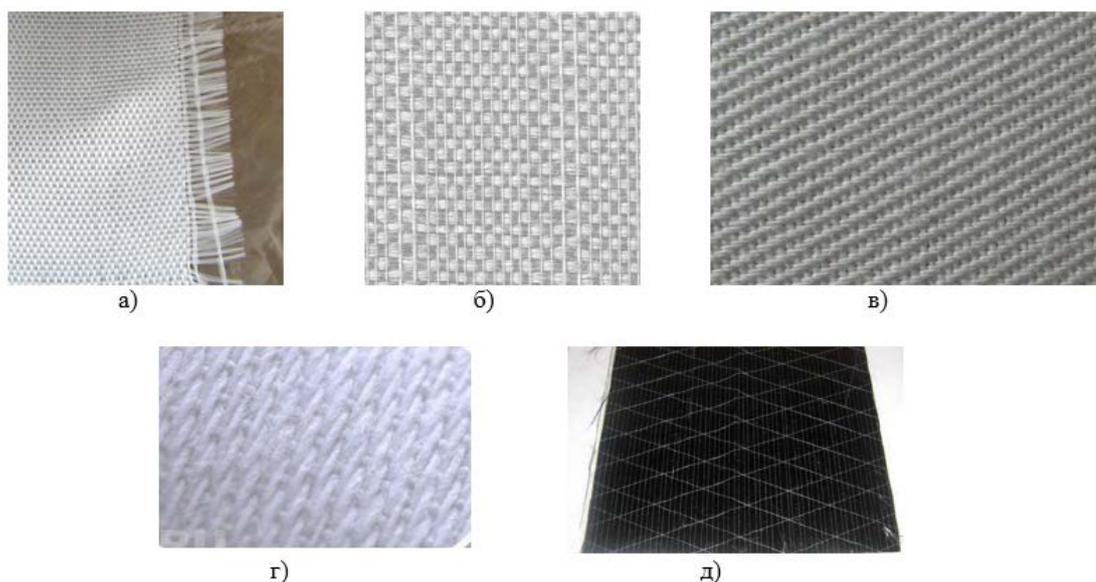


Рисунок 6.3 – Виды переплетения стеклотканей: а – полотняное; б – сеточное; в – саржевое; г – сатиновое; д – однонаправленная

м) Магистрант обязан давать ссылки на источники использованной литературы в тексте ВКР. Такие ссылки дают возможность найти соответствующие источники и проверить достоверность цитирования,

а также необходимую информацию об этом источнике (его содержание, язык, объем и другое).

При описании в ВКР результатов, включенных в единоличные публикации магистранта, а также в публикации, написанные им вместе с другими лицами, магистрант обязан давать ссылки и на такие публикации.

При использовании сведений из источника с большим количеством страниц магистрант должен указать в том месте ВКР, где дается ссылка на этот источник, номера страниц, иллюстраций, таблиц, формул, уравнений, на которые дается ссылка в ВКР. Например, «[14, с. 26, таблица 2]» (здесь 14 – номер источника в списке использованной литературы, 26 – номер страницы, 2 – номер таблицы).

Ссылки на источники в тексте ВКР осуществляются путем приведения номера в соответствии со списком использованной литературы. Номер источника по списку заключается в квадратные скобки.

Сведения об использованных в ВКР источниках приводятся в разделе «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ», который формируются в следующем порядке:

- 1) Международные нормативные акты;
- 2) Конституция РФ;
- 3) Федеральные конституционные законы;
- 4) Постановления Конституционного суда;
- 5) Кодексы;
- 6) Федеральные законы;
- 7) Законы;
- 8) Указы Президента;
- 9) Постановления Правительства;
- 10) Распоряжения Правительства;
- 11) Акты Верховного и Высшего арбитражного судов;
- 12) Постановления министерств и ведомств;
- 13) Приказы министерств и ведомств;
- 14) Распоряжения министерств и ведомств;
- 15) Письма министерств и ведомств;
- 16) Региональные нормативные акты;
- 17) ГОСТы;
- 18) СНИПы, СП, ЕНИРы, ТУ и др.;
- 19) Патенты;

- 20) Рекомендации;
- 21) Публикации в алфавитном порядке фамилий первых авторов;
- 22) Интернет источники;
- 23) Иностранные публикации в алфавитном порядке фамилий первых авторов.

н) Раздел «Приложения» оформляют в конце рукописи располагая их в порядке появления ссылок в тексте ВКР. В приложениях помещают материал, дополняющий текст работы. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы, расчеты и т.д. Не допускается включение в приложение материалов, на которые отсутствуют ссылки в тексте ВКР.

Каждое приложение следует начинать с нового листа с указанием слова «Приложение», напечатанного прописными буквами. Приложение должно иметь содержательный заголовок, который размещается с новой строки по центру листа с прописной буквы. Высота текста – 14 пт, межстрочный интервал – 1,5.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А (за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь), например: «Приложение А», «Приложение Б». Допускается обозначать приложения буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O. Точка в конце обозначения и названия приложения не ставится.

п) Плакаты (см. прил. 11) оформляются отдельно от рукописи магистерской выпускной квалификационной работы, не подшивая их к текстовой части, и используются для наглядности выполненного исследования на защите в ГЭК. Плакаты выполняются на форматах А1 (841x594 мм) в программе Microsoft PowerPoint или чертежных программах семейства Autodesk. На плакатах размещают основные положения ВКР и ее результаты (название, актуальность темы работы, цели и задачи работы, структура, основные теоретические положения, выносимые на защиту результаты, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, инженерные и численные исследования и т.д.). Выносимые материалы на плакаты определяет магистрант и научный руководитель. Обязательные плакаты – титульный лист, основные положения исследования (название ВКР, цель, объект и предмет исследования, задачи исследования, научная новизна, выносимые на защиту результаты и положения, практическая ценность работы), выводы и рекомендации. Плакаты должны быть заполнены не менее

чем на 80 %. В верхнем левом углу плакатов, кроме титульного листа, ставится порядковый номер плаката арабской цифрой в квадрате. Шрифты, используемые в плакатах – Times New Roman или GOST type A. Высота шрифта для заголовков – 55-70 пт, для основного текста – 40-50 пт, для вспомогательного текста (текст таблиц, подписи рисунков и т.д.) – 30-35 пт. Высота текста должна выбираться из условий читаемости работы на расстоянии 1,0-2,0 м. Межстрочный интервал назначается магистрантом, но не должен превышать 1,5. Допускается выполнение плакатов без абзацного отступа. Оформление рисунков, таблиц и формул выполняется аналогично текстовой части ВКР. Минимальное количество плакатов – 10 шт.

7. ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

Магистрант допускается к защите только в том случае, если он имеет не менее четырех опубликованных статей в периодических изданиях по тематике своего исследования.

Выпускная квалификационная работа магистра представляется на выпускающую кафедру в следующем виде:

- а) Сброшюрованная рукопись в твердый переплет для выпускной квалификационной работы или без названия красного цвета (в конце работы подшивается пустой файл А4, при необходимости количество файлов может быть увеличено до 2-3 штук);
- б) Заявление о самостоятельном характере выполнения выпускной квалификационной работы;
- в) Заключение комиссии по антиплагиату;
- г) Распечатанная справка-отчет из системы антиплагиата, включающая в себя информацию о документе, проценте оригинальности, модулях поиска и т.д.;
- д) Отзыв руководителя;
- е) Рецензия;
- ж) Электронная версия ВКР (рукопись, плакаты, скан-копии статей), записанная на двух CD дисках. На каждом из дисков необходимо записать тестовую и графические части в редактируемых и не редактируемых форматах (doc, docx, ppt, pptx, dwg, pdf и т.д.). На диске должна быть создана папка с названием вида:

[1]_ [2], где 1 – форма обучения (ДО – дневное обучение, ЗО – заочное обучение), 2 – Фамилия_И_О (например, ДО_Иванов_И_И). В основной папке должны быть вложены папки «ЛИСТЫ», «СТАТЬИ» и рукопись в одном файле, имеющая название Фамилия_И_О (например, Иванов_И_И.docx, Иванов_И_И.pdf). В папке «ЛИСТЫ» должны быть отдельные файлы всех плакатов в форматах pdf, имеющие названия Плакат01.pdf, Плакат02.pdf и т.д. Также в папке «ЛИСТЫ» необходимо разместить все плакаты в одном файле редактируемого формата – Плакаты.pptx, Плакаты.dwg и т.д. В папке «СТАТЬИ» должны быть размещены скан-копии статей, опубликованных магистрантом в формате pdf, имеющие название Статья01.pdf, Статья02.pdf. Скан копия статьи должна включать в себя титульный лист и содержание журнала, где она опубликована, и непосредственно саму статью. Если статья опубликована в электронном издании, то в скан копии необходимо разместить текст статьи, отправленный на опубликование, и распечатанную интернет-страницу (или ее Print Screen) с содержанием электронного издания, подтверждающую опубликование статьи.

и) копии опубликованных статей, оформленные в соответствии с пунктом ж;

к) Распечатанные плакаты формата А1.

Пункты б-и не подшиваются к основной работе, а вкладываются в файл в конце работы.

Процедура защиты выпускной квалификационной работы магистра включает в себя:

- доклад магистранта, сопровождаемый плакатами;
- зачитывание отзыва руководителя и рецензии секретарем ГЭК;
- ответы на замечания рецензента;
- ответы на вопросы членов комиссии и присутствующих на защите (с разрешения председателя ГЭК).

Продолжительность доклада составляет 10-15 минут. Общая продолжительность защиты выпускной квалификационной работы магистра – 20-30 минут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Защита ВКР магистра является важным этапом в жизни студента, получающего высшее образование. Именно квалификация «магистра» по направлению 08.04.01 «Строительство» позволяет в дальнейшей карьере занимать высшие инженерные (руководитель проектной группы, главный инженер проектов, инженер-эксперт) и руководящие должности (мастер, бригадир, прораб, начальник, директор) не только в обычных фирмах, но и в муниципальных или государственных учреждениях, связанных со строительной отраслью. Если магистрант видит свое будущее в развитии науки, то после защиты ВКР, он сможет поступить в аспирантуру, а само исследование даст приличный задел для будущей диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Что касается тематики учебного пособия, связанного с исследованием напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью, то ее актуальность и значимость были не раз доказаны по тексту издания.

Древесина уникальный строительный материал, используемый и изучаемый человеком на протяжении многих тысячелетий. Его высокие прочностные свойства, возобновляемость и относительно низкая стоимость всегда были основными критериями выбора данного строительного материала. Однако наряду с положительными моментами у деревянных конструкций есть и отрицательные стороны. Именно на снижение влияния таких неблагоприятных факторов направлено данное и тысячи других исследований деревянных конструкций. Применение современных стеклотканей и клеев, с добавлением наномодифицированных веществ, позволяют улучшить свойства как строительных конструкций, так и древесины в целом, путем ее пропитки под высоким давлением. Более подробные выводы и рекомендации приведены в прил. 9.

Надеемся, что учебное пособие поможет обучающимся в подготовке выпускной квалификационной работы магистра на всех стадиях: от выбора темы исследования до защиты работы в государственной экзаменационной комиссии.

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. ГОСТ 11539-2014. Фанера бакелизированная. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2015.
2. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. М.: Минстрой России, 2015.
3. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2017.
4. DIN EN 204/205. Классификация термопластичных клеев для древесины для применения в производстве конструкционного силового бруса.
5. Патент на полезную модель N139443 – «Деревокомпозитная балка» Рос. Федерация: МПК E04C3/14 / С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В. Лукин, П.Б. Шохин, М.С. Лисятников; патентообладатель ВлГУ, № 2013136878; заявл. 06.08.2013 г.; опубл. 19.03.2014 г.
6. Алимов Л.А., Воронин В.В. Технология производства неметаллических строительных изделий и конструкций: учебник. М.: ИНФРА-М, 2016. 448 с.
7. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2017. 252 с.
8. Бойтемиров Ф. А. Конструкции из дерева и пластмасс: учебник. М: Академия, 2013. 288 с.
9. Вареник К.А. Аппроксимация диаграммы деформирования древесины // ВЕСТНИК НОВГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. 2013. Т. 1. N 75. С. 60-64.
10. Вдовин В. М. Конструкции из дерева и пластмасс. Проектирование деревянных ферм: учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2017. 154 с.
11. Галиев Г.Б., Пушкрёв С.С., Климов Е.А., Мальцев П.П., Имамов Р.М., Суботин И.А. Рентгенодифракционные исследования метаморфных наногетероструктур методом рентгеновской дифрактометрии // Кристаллография. 2014. Т. 59. N 2. С. 297.

12. Гиясов Б.А., Стриженко В.В., Запруднов В.И., Серегин Н.Г. Конструкции из древесины и пластмасс: учебное пособие. М.: АСВ, 2017. 582 с.

13. Герке Л.Н., Башкиров В.Н., Князева А.В. Древесиноведение: учебное пособие. Казань: КНИТУ, 2014. 104 с.

14. Глухих В. Н., Черных А.Г. Анизотропия древесины. Технологический аспект: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2013 г. 240 с.

15. Гуськов Д.В., Корнев Ю.В., Титов С.А., Вермель В.Д. Свойства клеевой композиции, модифицированной углеродными наноматериалами, для авиационных конструкций на основе полимерных композитов // Второй междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием "Новые материалы" (г. Сочи, 01-04 июня 2016 г.). 2016. С. 10-11.

16. Дементьева Л.А., Серезенков А.А., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е. Клеевые препреги и слоистые материалы на их основе // Авиационные материалы и технологии. 2013, N 2 (27), С. 19-21.

17. Елецкий А.В, Зицерман В.Ю., Кобзве В.А. Нанокуглеродные материалы. Физико-химические и эксплуатационные свойства, методы синтеза, энергетические применения // Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53. N 1. С. 117.

18. Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В. Испытание на изгиб деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, разрушающей нагрузкой // Инженерно-строительный журнал. 2015. N 2(54). С. 77-85.

19. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров. М.: Лань, 2014. 368 с.

20. Кондрашов С.В., Гуревич Я.М., Попков О.В., Шашкеев К.А., Фионов А.С., Солдатов М.А., Юрков Г.Ю. Широкополосные радиопоглощающие материалы на основе пористых композитов с углеродными нанотрубками // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017г. - №1 -с. 2-8.

21. Куцевич К.Е. Клеевые препреги и углекомпозиты на их основе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09. - М., 2014. - 26 с.

22. Лабудин Б.В. Расчет пространственных конструкций с учетом деформативности податливых связей (развитие идей П.А. Дмитриева, В.М. Коченова, В.А. Лебедева, Г.В. Никитина и др.) // ИВУЗ. Строительство. 2013. N 11-12 (659-660). С. 5-12.

23. Лабудин Б.В., Серов Е.Н. Клееные деревянные конструкции: состояние и проблемы развития // ИВУЗ. Лесной журнал. 2013. N 2.
24. Лукина А.В. Совершенствование технологии восстановления деструктированной древесины в элементах деревянных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. - Архангельск, 2014.
25. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Кириенко Т.А., Чурсова Л.В. Клеевые связующие для деталей из ПКМ сотовой конструкции // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. N 5. С. 12-16.
26. Малбиев С.А. Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции покрытий зданий: учебное пособие. М.: АСВ, 2017. 336 с.
27. Миронов В.Г. Деревянные конструкции в вопросах и ответах. Расчёт элементов цельного, составного и клеёного сечений: учеб. пособие. Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. 95 с.
28. Олейников А.И., Вермель В.Д. поведение соединений элементов из полимерных композиционных материалов с наномодифицированными адгезивами // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (г. Казань, 20-24 августа 2015 г.). 2015. С. 2842-2843.
29. Погорельцев А.А., Пятикостовский К.П. Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. N 10. С. 33-35.
30. Рощина, С. И., Сергеев М.С., Лукина А.В. Армированные деревянные конструкции // ИВУЗ. Лесной журнал. 2013. - N 4 (334). С. 80-85.
31. Семенов К.В., Кононова М.Ю. Конструкции из дерева и пластмасс. Деревянные конструкции: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 132 с.
32. Сергеев М.С. Совершенствование технологии изготовления деревянных конструкций с термоупрочнением краевых зон: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. - Архангельск, 2013. – 173 с.
33. Серов Е.Н., Санников Ю.Д., Серов А.Е. Проектирование деревянных конструкций: учеб. пособие под ред. Е. Н. Серова. М.: АСВ, 2015. 536 с.

34. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). М.: ООО РИФ "Стройматериалы", 2013. 308 с.
35. Тюленева Е.М. Остаточные деформации в древесине // Вестник московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. N 2 (101). С. 70-73.
36. Уточкина Е.С., Крицин А.В. Усиление опорных зон деревянных балок углеродной лентой // Scienceforum ННГАСУ, 2013. С. 7.
37. Филимонов Э.В., Гаппоев М.М., Гуськов И.М., Еромленко Л.К., Линьков В.И., Линьков Н.В., Серова Е.Т., Степанов Б.А. Конструкции из дерева и пластмасс: учебник. 6-е издание перераб. и доп. М.: АСВ, 2016. 436 с.
38. Jack Porto, Pitter Ross. Designers' Guide to Eurocode 5: Design of Timber Buildings EN 1995-1-1. М.: MGSU: Eurocode, 2013. 308 p.

РЕКОМЕНДОВАННЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Быкова, Е.Н.** Техническая инвентаризация объектов капитального строительства [Текст]: учеб. пособие / Е.Н.Быкова, В.А.Павлова. – СПб.: Лань, 2014. – 160 с.: ил. - ISBN 978-5-8114-1564-9.
2. **Гиясов, Б.И.** Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины [Текст]: учеб. пособие / Б.И.Гиясов, Н.Г.Серегин. - М.: АСВ, 2014. - 88 с. - ISBN 978-5-4323-0044-7.
3. **Малбиев, С.А.** Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции покрытий зданий [Текст]: учеб. пособие для строительных специальностей вузов / С.А.Малбиев. - М.: АСВ, 2017. - 336 с. - ISBN 978-5-4323-0177-2.
4. **Насонов, С.Б.** Руководство по проектированию и расчету строительных конструкций. В помощь проектировщику [Текст] / С.Б.Насонов. - М.: АСВ, 2017. - 816 с. - ISBN 978-5-93093-937-8.
5. **Плевков, В.С.** Оценка технического состояния, восстановление и усиление строительных конструкций инженерных сооружений [Текст]: учеб. пособие / Под ред. В.С.Плевкова. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: АСВ, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-93093-936-1.
6. **Серов, Е.Н.** Проектирование деревянных конструкций [Текст]: учеб. пособие / Е.Н.Серов. - М.: АСВ, 2015. - 536 с. - ISBN 978-5-93093-793-0.
7. **Филлимонов, Э.В.** Конструкции из дерева и пластмасс [Текст]: учебник / Э.В.Филлимонов, М.М.Гаппоев, И.М.Гуськов, Л.К.Ермоленко, В.И.Линьков, Н.В.Линьков, Е.Т.Серова, Б.А.Степанов. - Изд. 6-е, перераб. и доп. - М.: АСВ, 2016. - 436 с. - ISBN 978-5-93093-302-2.
8. **Шерешевский, И.А.** Конструирование гражданских зданий [Текст]: учеб. пособие для техникумов / И.А.Шерешевский. - М.: Архитектура-С, 2016. - 176 с.: ил. - ISBN 978-5-9647-0301-3.
9. **Ягнюк, Б.Н.** Теоретические основы расчетных зависимостей в стандарте EN 1995-1-1 (Еврокод 5) на проектирование деревянных конструкций [Текст] / Б.Н.Ягнюк - М.: АСВ, 2017. - 168 с. - ISBN 978-5-4323-0208-3.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Форма заявления о самостоятельном характере выполнения выпускной квалификационной работы (заполняется от руки)

ЗАЯВЛЕНИЕ

о самостоятельном характере выполнения выпускной квалификационной работы

Я, _____,
(Фамилия Имя Отчество)
обучающийся в группе _____ направления (специальности) _____
(код, наименование)

заявляю:

«Моя выпускная квалификационная работа на тему «_____»
_____»,
представленная в комиссию по проверке объема заимствований, выполнена самостоятельно.

Все заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее ВКР, исследовательских работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Изменений, направленных на обход алгоритмов проверки системы, нет.

Я ознакомлен(а) с действующим в ВлГУ «Положением о проведении проверки выпускных квалификационных работ на объем заимствований», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для отказа в допуске выпускной квалификационной работы к защите и применения дисциплинарных взысканий, а также может повлечь за собой юридическую ответственность, предусмотренную Гражданским кодексом Российской Федерации и Уголовным кодексом Российской Федерации.»

(И.О. Фамилия) \ _____ \ _____
(Подпись) (Дата)

Приложение 2

Форма заключения комиссии по антиплагиату (заполняется от руки)

Заключение комиссии № _____

по проверке на объем заимствования от « _____ » _____ 20 ____ г.

по проверке ВКР на объем заимствования студента (-ки) _____

группы _____ направления _____

на тему _____

Присутствовали: _____

(ФИО, должность)

(ФИО, должность)

(ФИО, должность)

(ФИО, должность)

(ФИО, должность)

Работа выполнена под руководством _____

(должность, ФИО)

В комиссию представлены следующие материалы: Пояснительная записка

Для проверки было использовано _____ <http://vlsu.antiplagiat.ru/>

(название системы выявления неправомерных заимствований)

Перечень баз данных, по которым проводилась проверка: Модуль поиска Интернет; Коллекция диссертаций РГБ; Цитирование; Модуль поиска ЭБС «Лань»; Кольцо вузов; Модуль поиска ЭБС «Университетская библиотека онлайн»; Модуль поиска ЭБС «БиблиоРоссика»; Модуль поиска «vlsu»

После проверки получен отчет, представленный в приложении на _____ листах.

Оригинальность _____ %.

Мнение членов комиссии по корректировке результатов, указанных в отчете системы:

Заключение и рекомендации _____

(допустить работу к защите, не допускать к защите, отправить на доработку)

Члены комиссии:

_____	/	_____
(подпись)	/	(ФИО)
_____	/	_____
(подпись)	/	(ФИО)
_____	/	_____
(подпись)	/	(ФИО)
_____	/	_____
(подпись)	/	(ФИО)
_____	/	_____
(подпись)	/	(ФИО)

Пример справки-отчета по антиплагиату



АНТИПЛАГИАТ
ТВОРИТЕ СОБСТВЕННЫМ УМОМ

Владимирский ГУ

СПРАВКА
о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Лисятников Михаил Сергеевич
Факультет, кафедра, номер группы	Институт архитектуры, строительства и энергетики, кафедра "Строительные конструкции", Смэ-415
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	Исследование напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью
Название файла	Лисятников_M_C.docx
Процент заимствования	21,76%
Процент цитирования	0,00%
Процент оригинальности	78,24%
Дата проверки	15:25:39 10 мая 2017г.
Модули поиска	Модуль поиска ЭБС "БиблиоРоссика"; Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска ЭБС "Университетская библиотека онлайн"; Модуль поиска ЭБС "Айбукс"; Модуль поиска Интернет; Модуль поиска ЭБС "Лань"; Модуль поиска ЭБС "Юрайт"; Модуль поиска "vlsu"; Кольцо вузов
Работу проверил	Рощина С И ФИО проверяющего
Дата подписи	10.05.2017г. Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

Форма (пример) титульного листа

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА**

Студент _____ Лисятников Михаил Сергеевич _____
Институт _____ Архитектуры, строительства и энергетики _____
Направление _____ 08.04.01 «Строительство» _____

Тема выпускной квалификационной работы

Исследование напряженно-деформированного состояния
деревоклееных балочных конструкций, усиленных
стеклотканью

Нормоконтроль _____ к.т.н., доц. Яшкова Т.Н.
(подпись) (ФИО)

Руководитель ВКР _____ д.т.н., проф. Роцина С.И.
(подпись) (ФИО)

Студент _____ Лисятников М.С.
(подпись) (ФИО)

**Допустить выпускную квалификационную работу к защите
в государственной экзаменационной комиссии**

Заведующий кафедрой _____ д.т.н., проф. Роцина С.И.
(подпись) (ФИО)

«_____» _____ 20 ____ г.

Форма (пример) задания на ВКР

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой СК д.т.н. проф. Рощина С.И.
«__» _____ 20__ г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студенту Лисятникову Михаилу Сергеевичу

1. Тема ВКР Исследование напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью

утверждена приказом по университету № 175/4 от 10.03.2017

2. Срок сдачи студентом законченной работы 04.05.2017

3. Исходные данные к ВКР Результаты технических обследований деревоклееных конструкций. Опыт использования стеклотканей в усилении строительных конструкциях

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

1. Провести анализ мирового опыта создания, и области рационального применения деревянных конструкций

2. Выбрать физическую модель и создать математическую модель деревоклеёной балки с усилением приопорной зоны

3. Определить опорные и силовые граничные условия

4. Разработать инженерный метод расчета деревоклеёной балки с усилением приопорной зоны

5. Рассчитать полученную конструкцию в ПК «ЛИРА 9.6.»

6. Дать сравнительную характеристику результатов инженерного и численного расчётов

7. Сформулировать выводы и дать рекомендации

5. Перечень графического материала (с указанием обязательных плакатов)

1. Титульный лист (1 лист)

2. Основные положения (1 лист)

3. Классификация клееных балочных конструкций (1 лист)

4. Основные виды усиления опорных участков деревянных и деревоклееных балок (1 лист)

5. Основные виды и характеристики стеклотканей. Применение нанотехнологий в технических отраслях (1 лист)

6. Методика инженерного расчета деревоклееных балок с усилением приопорных участков олигомером на основе унт (1 лист)

7. Результаты инженерного расчета деревоклееных балок (1 лист)

8. Исследования деревоклееных балок методом конечных элементов в ПК «ЛИРА 9.6» (1 лист)

9. Результаты численных исследований деревоклееных балок. (1 лист)

10. Выводы и рекомендации (1 лист)

6. Консультанты по ВКР (с указанием относящихся к ним разделов)

1 Глава. Анализ мирового опыта создания и области рационального применения деревянных конструкций / д.т.н. проф. Рощина С.И./

2 Глава. Расчетно-теоретическое обоснование конструктивных решений высоких деревоклееных балок / д.т.н. проф. Рощина С.И./

3 Глава. Педагогические приемы и методики, используемые в выпускной квалификационной работе / д.т.н. проф. Рощина С.И./

Дата выдачи задания 01.10.2015 г.

Руководитель _____ /д.т.н. проф. Рощина С.И./
(подпись) (ФИО)

Задание принял к исполнению _____ /Лисятников М.С./
(подпись) (ФИО)

*Пример аннотации***АННОТАЦИЯ**

В выпускной квалификационной работе «Исследование напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью» рассмотрены вопросы изучения конструктивных особенностей высоких деревоклееных балок с усилением приопорных зон. Препрег, используемый для усиления, изготовлен из стеклоткани, пропитанной клеем с добавлением наночастиц. Был разработан инженерный метод расчета. Напряжения и деформации балок были рассчитаны с помощью метода конечных элементов в программном комплексе «ЛИРА 9.6».

Работа состоит из аннотации, введения, трех глав, списка литературы из 52 наименований, представлена на 93 страницах, содержит 58 рисунков и 3 таблицы.

ANNOTATION

In the final qualifying work "Investigation of the stressed-deformed state of wood-beamed beam structures reinforced with fiberglass," questions of studying the structural features of high tree-beamed girders with reinforcement of the piercing zones are examined. The prepreg used for reinforcement is made of glass fiber cloth impregnated with glue with the addition of nanoparticles. An engineering calculation method was developed. The stresses and deformations of the beams were calculated using the finite element method in the LIRA 9.6 software package.

The work consists of an annotation, introduction, third chapters, a list of literature from 52 titles, is presented on 93 pages, contains 58 figures and 3 tables.

Пример содержания

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА СОЗДАНИЯ И ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	11
1.1 Древесина как конструкционный материал	11
1.2 Клееные деревянные конструкции. Особенности компоновки поперечных сечений	14
1.3 Стеклоткани. Основные характеристики	22
1.4 Основные работы по усилению деревянных и деревоклееных балочных конструкций	26
1.5 Применение наноматериалов в клеевых композициях	39
2 РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ВЫСОКИХ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК	50
2.1 Выбор физической модели. Создание математической модели конструкции балки на основе метода конечных элементов	50
2.2 Определение опорных и силовых граничных условий	65

3 ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И МЕТОДИКИ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ	83
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	88

Пример перечня терминов и условных обозначений

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕРМИНОВ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Адгезия (от лат. adhaesio – прилипание) – сцепление поверхностей разнородных твёрдых и/или жидких тел.

Диспергирование (от лат. dispersio – рассеяние), эмульгирование, эмульгация (от лат. emulgeo – дою, выдаиваю) — тонкое измельчение твёрдых тел или жидкостей, в результате чего получают порошки, суспензии, эмульсии.

ЗШС – Зубчатошиповое соединение.

Препреги (англ. pre-preg, сокр. от pre-impregnated – предварительно пропитанный) – это композиционные материалы-полуфабрикаты.

Трансверсально-изотропные материалы – материал, в которых свойства существенно отличаются в двух взаимно перпендикулярных направлениях

УНТ – Углеродные нанотрубки.

Углеродные нанотрубки – это (протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку графеновых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена.

ЭД – Эпоксидно-диановая смола.

Приложение 9

Пример выводов и рекомендаций в ВКР

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выполнены исследования напряженно-деформированного состояния балочных конструкций с усилением приопорных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ, в результате которой получена равнопрочная стропильная конструкция.

2. Проведен обзор мирового опыта развития проектирования деревянных и деревоклееных конструкций, усиленных полимерными материалами.

3. Выполнены теоретические исследования деревоклееных балочных конструкций с выбором адекватной физической модели соединения древесины и олигомера.

4. Разработана методика расчета усиленных высоких балочных деревокомпозитных конструкций.

5. Выполнены численные исследования балочных деревоклееных конструкций в программном комплексе «ЛИРА 9.6». Установлено, что касательные напряжения в опорной части усиленной балки уменьшаются на 21, 33 и 41 %, напряжения сжатия поперек волокон в площадке опирания уменьшаются на 8, 16 и 27 %, растягивающие напряжения под углом к волокнам уменьшаются на 11, 20 и 29 % в зависимости от количества слоев обоймы 1, 3 и 5 соответственно.

6. На основе численного исследования сделано заключение, что при длительном действии эксплуатационной нагрузки приращение деформации в усиленной балке увеличиваются до 16, 18 и 19 % в зависимости от количества слоев обоймы 1, 3 и 5 соответственно, и стабилизируются в течение года.

7. Установлено, что расхождение инженерного метода расчета с численным экспериментом составляет по прочности 4...8 %, по жесткости 7...12 %.

8. Результаты исследования можно применить в образовательных программах бакалавриата и магистратуры по направлению подготовки «Строительство».

9. Разработанные технические решения высоких деревоклееных балочных конструкций с усилением приопорных зон олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ рекомендуется применять при изготовлении, реконструкции и ремонте деревянных клееных балок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации № 190-ФЗ [Текст]: [принят Гос. Думой 29 дек. 2004 г.: одобрен Советом Федерации 24 дек. 2004 г.: по состоянию на 05 марта 2017 г.]. - М.: Проспект, 2017. - 320, [1] с.- ISBN 378-5-392-24308-0.
2. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [Текст]. - Введ. 2015-07-01. - М.: Стандартинформ, 2015. -16 с.: ил.
3. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. [Текст]. - Введ. 2014-09-01. - М.: Минстрой России, 2014. -56 с.: ил.
4. Деревянокомпозитная балка [Текст]: пат. 139443 Рос. Федерация: МПК E04C3/14 / Рощина С.И., Смирнов Е.А., Лукин М.В., Шохин П.Б., Лисятников М.С.; заявитель и патентообладатель ВлГУ. - N 2013136878; заявл. 06.08.2013; опубл. 19.03.2014, Бюл. N 9 (II ч.). - 3 с.: ил.
5. **Гиясов, Б.И.** Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины [Текст]: учеб. пособие / Б.И.Гиясов, Н.Г.Серегин. - М.: АСВ, 2014. - 88 с. - Библиогр.: с.16-24. - ISBN 978-5-4323-0044-7.
6. **Полева, Е. А.** Модификация клеевых композиций наносоединениями углерода фуллеренового ряда [Текст] / Е. А.Полева, А. В.Чичварин, Л. Н.Крафт, Технические науки в России и за рубежом: материалы II междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2014 г.). - М.: Буки-Веди, 2014. - 306, [3] с.. - Библиогр.: с.153-155.
7. **Сергеев, М.С.** Совершенствование технологии изготовления деревянных конструкций с термоупрочнением краевых зон [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05: защищена 24.12.13: утв. 02.07.13 / Сергеев Михаил Сергеевич. - Архангельск, 2013. - 173 с. Библиогр.: с.67-128. - 18504302789.
8. **Филлимонов, Э.В.** Конструкции из дерева и пластмасс [Текст]: учебник / Э.В.Филлимонов, М.М.Гаппоев, И.М.Гуськов, Л.К.Ермоленко, В.И.Линьков, Н.В.Линьков, Е.Т.Серова, Б.А.Степанов. - Изд. 6-е, перераб. и доп. - М.: АСВ, 2016. - 436 с. - Библиогр.:

с.335-348. - ISBN 978-5-93093-302-2.

9. **Шерешевский, И.А.** Конструирование гражданских зданий [Текст]: учеб. пособие для техникумов / И.А.Шерешевский. - М.: Архитектура-С, 2016. - 176 с.: ил. - Библиогр.: с.3-7. - ISBN 978-5-9647-0301-3.

10. Усиление несущих конструкций композитными материалами [Электронный ресурс] //Bssmol.ru: Базовые системы. Смоленск, 2009–2017. URL: http://www.bssmol.ru/ysilenie_nesyshix_kostrykcii/ (дата обращения: 24.12.2007).

11. Charleta K., Saulniera F., Duboisb M., Béakoua A. Improvement of wood polymer composite mechanical properties by direct fluorination [Text] // Materials & Design. 2015. Vol. 4(28). P. 61-66.

Пример оформления плакатов

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт архитектуры, строительства и энергетики (ИАСЭ)

Кафедра строительных конструкций

ЛИСЯТНИКОВ
Михаил Сергеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВООКЛЕЕННЫХ БАЛОЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ, УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОТКАНЬЮ**

Выпускная квалификационная работа магистра
по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство»
программа «Теория и проектирование зданий и сооружений»

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Рошина С. И.

В 2017

Пример оформления плаката «Титульный лист»

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель – Исследование напряженно-деформированного состояния ресурсосберегающих деревоклееных балочных конструкций с усилением приопорных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением углеродных нанотрубок (УНТ).

Объект исследования – конструкция высоких деревоклееных балок с усилением предельно-напряженных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ.

Предмет исследования – определение напряженно-деформированного состояния высоких деревоклееных балок с усилением предельно-напряженных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- провести анализ мирового опыта развития в проектировании деревянных и деревоклееных конструкций, в том числе усиленных полимерными и другими материалами;
- выполнить теоретические исследования деревоклееной балочной конструкции с обоснованием физической и математической модели анизотропного материала;
- разработать методику инженерного расчета высоких деревоклееных балок, усиленных олигомером на основе УНТ;
- выполнить численный расчет предложенной конструкции в ПК «ЛИРА 9.6».

Научная новизна результатов исследований:

- разработана расчетная математическая модель усиленного олигомером пропорного участка балки, адекватно отражающая трансверсально-изотропные физические свойства клееной древесины и наномодифицированного материала на основе стеклоткани, эпоксидной диановой смолы и углеродных нанотрубок;
- предложены уточненные методики инженерного и численного расчетов деревоклееных балочных конструкций с усиленными опорными участками.

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

- физическая и математическая модели для расчета опорных участков деревоклееных балок с учетом предельно-напряженного состояния древесины;
- результаты теоретического исследования прочностных свойств древесины приопорных участков высоких балок, усиленных олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНТ.

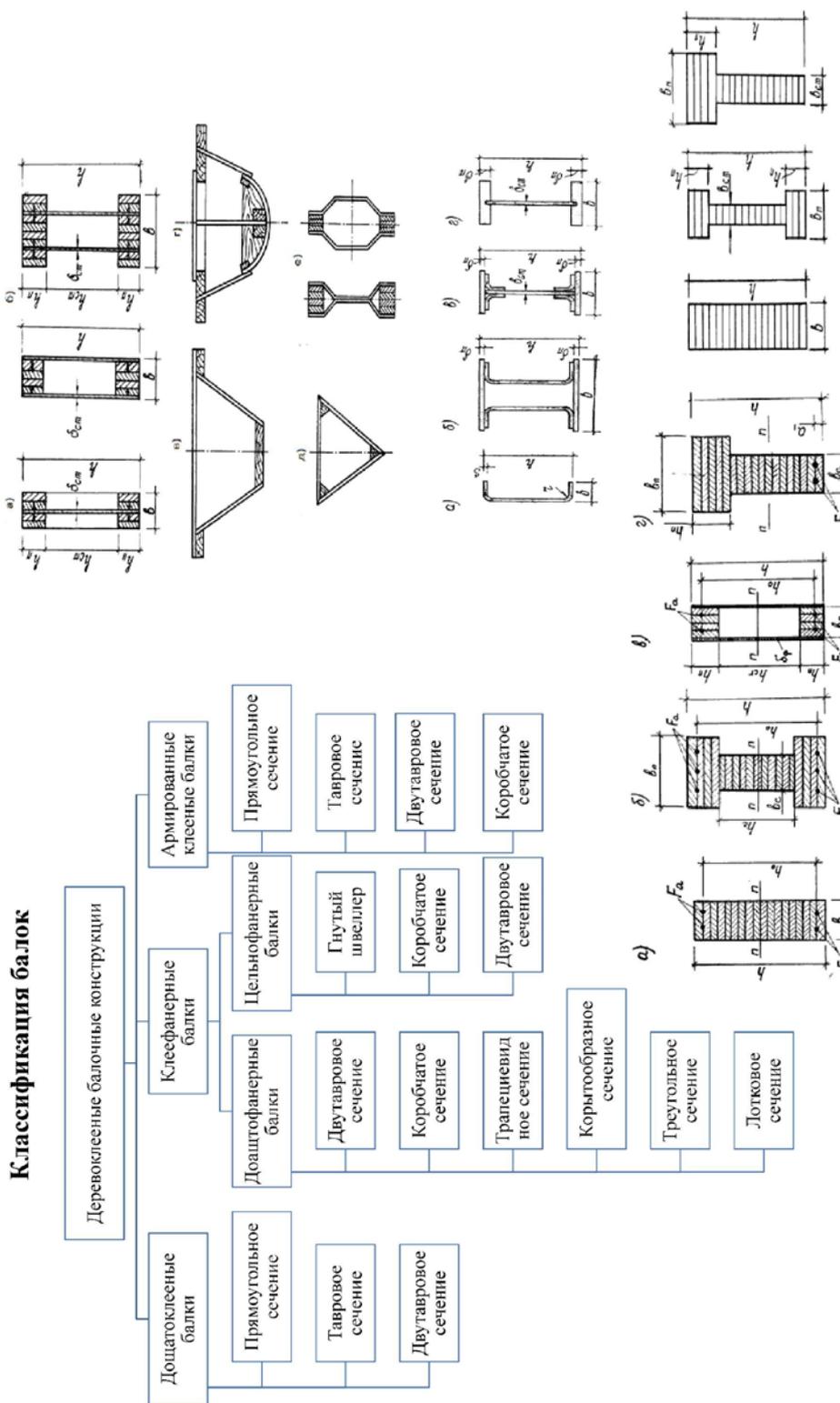
Практическая ценность работы

Исследовано напряженно-деформированное состояние деревоклееных высоких балок с усилением предельно-напряженных приопорных зон. Результаты исследования позволяют расширить область применения высоких деревоклееных балочных конструкций, снижают запредельные напряжения в приопорных участках балок и повышают эксплуатационную надежность конструкций.

Пример оформления плаката «Основные положения исследования»

КЛАССИФИКАЦИЯ КЛЕЕННЫХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

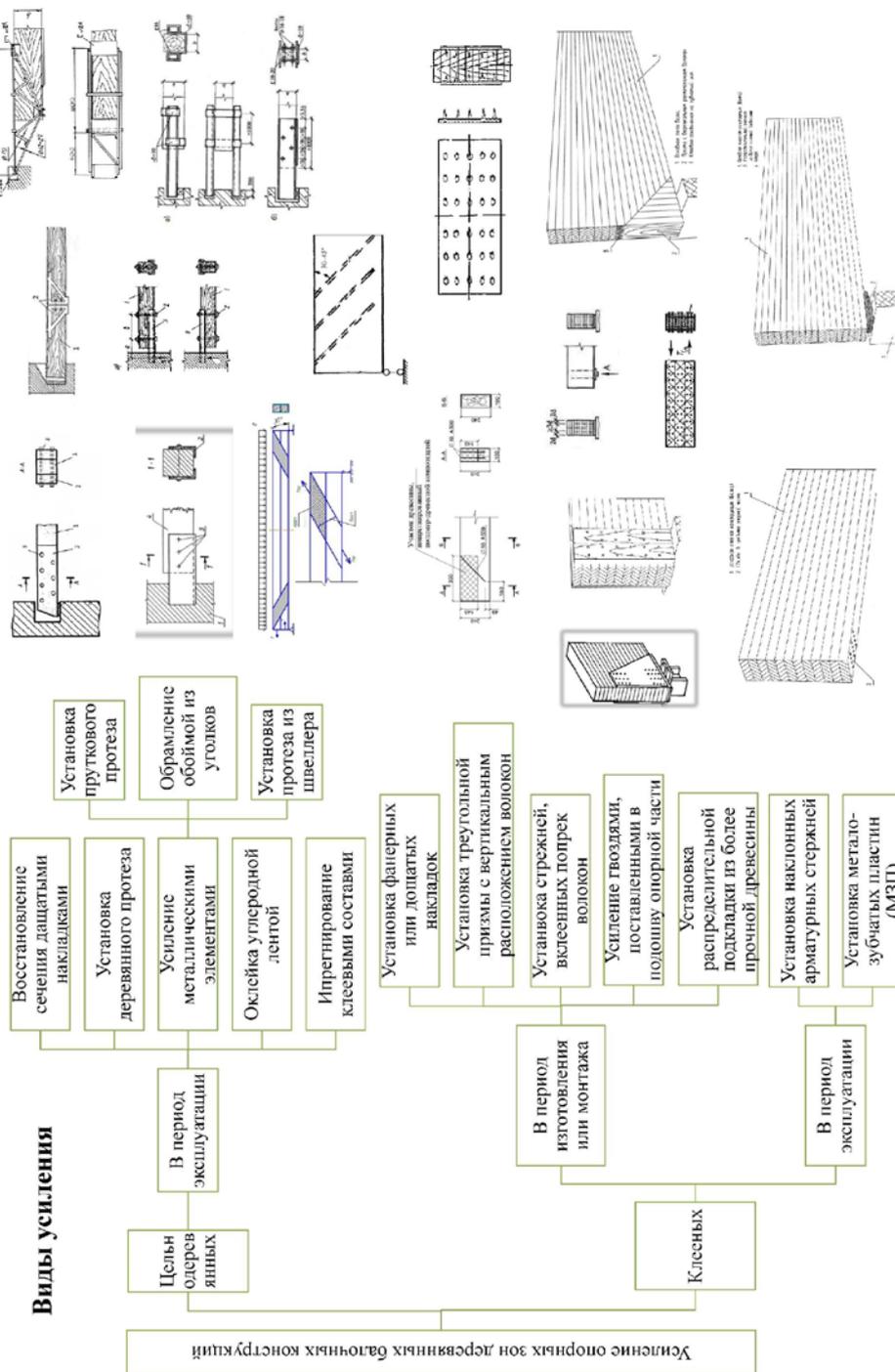
3



Пример оформления плаката теоретических исследований

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ УСИЛЕНИЯ ОПОРНЫХ УЧАСТКОВ ДЕРЕВЯННЫХ И ДЕРЕВООКЛЕЕННЫХ БАЛОК

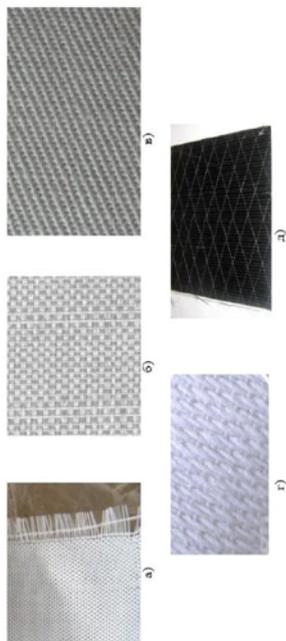
4



Пример оформления плаката теоретических исследований

5

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОТКАНЕЙ. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ ОТРАСЛЯХ



Виды переплетения стеклотканей: а) полотняное; б) сетчатое; в) саржевое; г) сатиновое; д) однонаправленная

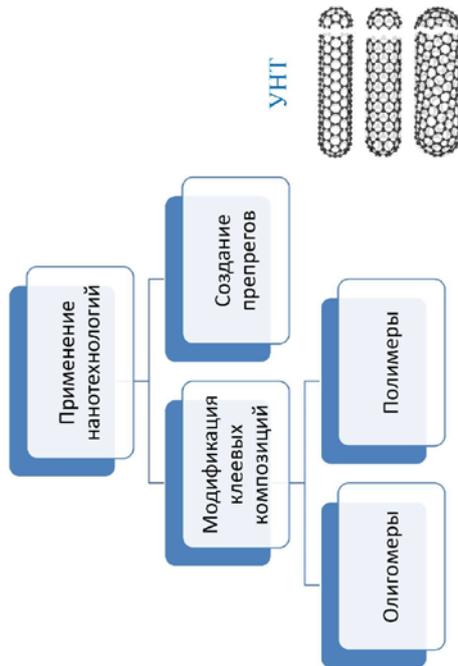
Основные прочностные свойства стеклотканей

Показатель	Марка исходного стекла			
	A	C	E	S
Плотность, кг/м ³	2500	2490	2540	2480
Предел прочности при растяжении (при 22°C), ГПа	3 (100 %)	3 (100 %)	3,5 (117 %)	4,6 (153 %)
Модуль упругости при растяжении (при 22°C), ГПа	74 (107 %)	69 (100 %)	72 (104 %)	86 (125 %)
				86 (109 %)
				75 (109 %)

Характеристики углеродных нанотрубок (УНТ)

Характеристика	Модуль продольной упругости, ГПа	Предел прочности на разрыв, ГПа	Плотность, г/см ³
УНТ	1000,00	150,00	01,20
Сталь	210,00	3,30	7,80
Углеродистик	230,00	3,50	1,75
Кевлар	60,00	3,60	1,45
Стекло	22,00	3,40	5,00
Древесина (ель, сосна)	12,50	0,01	0,50
Древесина (лиственница)	14,30	0,12	0,57

Углеродные нанотрубки — это протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку гексагоналыграфитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полуферрической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена.



Углеродный материал «Таунит» М» чистотой >98% - многослойные углеродные нанотрубки длиной более 2 мкм с наружным диаметром 8...15 нм, внутренним диаметром 4...8 нм и удельной поверхностью 300 м²/г

Пример оформления плаката теоретических исследований

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК С УСИЛЕНИЕМ ПРИПОРНЫХ УЧАСТКОВ ОЛИГОМЕРОМ НА ОСНОВЕ УНТ

Основные геометрические характеристики поперечного сечения балки

Наименование	Сечение без усиления	Усиленное приведенное сечение
Коэффициент приведения		$n = \frac{E_{стик}}{E_{др}}$
Коэффициент армирования		$\mu = \left(1 + \frac{2x}{h}\right) \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1$ <small>x – толщина стеклопластикопозиции</small>
Площадь сечения	$A_{др} = b \cdot h$	$A_{пр} = A_{др} (1 + \mu \cdot n)$
Статический момент инерции	$S_{др} = \frac{b \cdot h^2}{8}$	$S_{пр} = S_{др} \left\{ 1 + n \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right) - 1 \right] \right\}$ $S_{пр} = S_{др} \cdot (1 + n \cdot \mu)$
Момент инерции	$I_{др} = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$I_{пр} = I_{др} \left\{ 1 + n \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right)^2 - 1 \right] \right\}$
Момент сопротивления	$W_{др} = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$I_{пр} = I_{др} (1 + n \cdot \mu)$ $W_{пр} = W_{др} \left\{ 1 + n \left[(\mu + 1) \left(1 + \frac{2x}{h} \right) - 1 \right] \right\}$ $W_{пр} = W_{др} (1 + n \cdot \mu)$

Толщина элемента усиления x не превышает значения $0,001h$, тогда результат выражения $\frac{2x}{h} \rightarrow 0$. Вследствие малозначимости результата $\frac{2x}{h}$, им можно пренебречь.

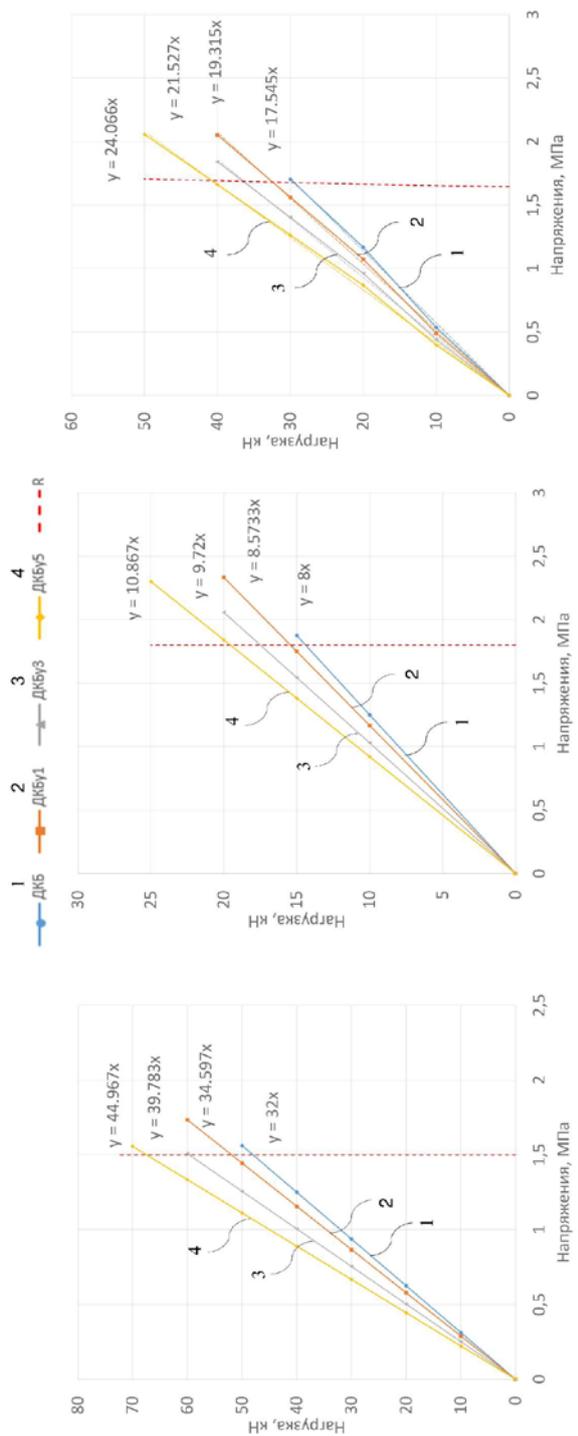
Погрешность вычисления при упрощении формул составляет 2...6 %, которые идут в зачет прочности при расчете усиленных балок.

Методика инженерного расчета

Порядок расчета	Сечение без усиления	Усиленное приведенное сечение
Максимальные нормальные напряжения в древесине	$\tau = \frac{3Q}{2A_{др}} \leq R_{ск}$	$\sigma_{и} = \frac{M}{W_{др}} \leq R_{и}$
		$\tau = \frac{Q \cdot S_{пр}}{(b + 2x \cdot n) I_{пр}} \leq R_{ск}$
Максимальные касательные напряжения в древесине относительно нейтральной оси	$\sigma_{и} = \frac{M}{\varphi_{м} \cdot W_{др}} \leq R_{и}$ $\varphi_{м} = 140 \left(\frac{b^2}{I_{пр}} \cdot h \right)$	$\sigma_{и} = \frac{M}{\varphi_{м} \cdot W_{пр}} \leq R_{и}$
		$\varphi_{м} = 140 \left[\frac{(b + 2x \cdot n)^2}{I_{пр}} \cdot h \right]$
Устойчивость плоской формы деформирования	$\sigma_{сжм} = \frac{Q}{A_{оп}} \leq R_{сжм 90}$	$A_{оп} = b \cdot l_{оп}$
		$A_{оп} = (b + 2x \cdot n) \cdot l_{оп}$
Контактное сжатие от опорной реакции	$\sigma = 0,5 \left[\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] \leq R_{ра}$	
Максимальные растягивающие напряжения под углом к волокнам		

Пример оформления плаката «Инженерный метод расчета»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК



Зависимость «нагрузка – касательные напряжения» для деревоклеенной балки

Зависимость «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» для деревоклеенной балки

Зависимость «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» для деревоклеенной балки (угол $\alpha=24^\circ \dots 25^\circ$)

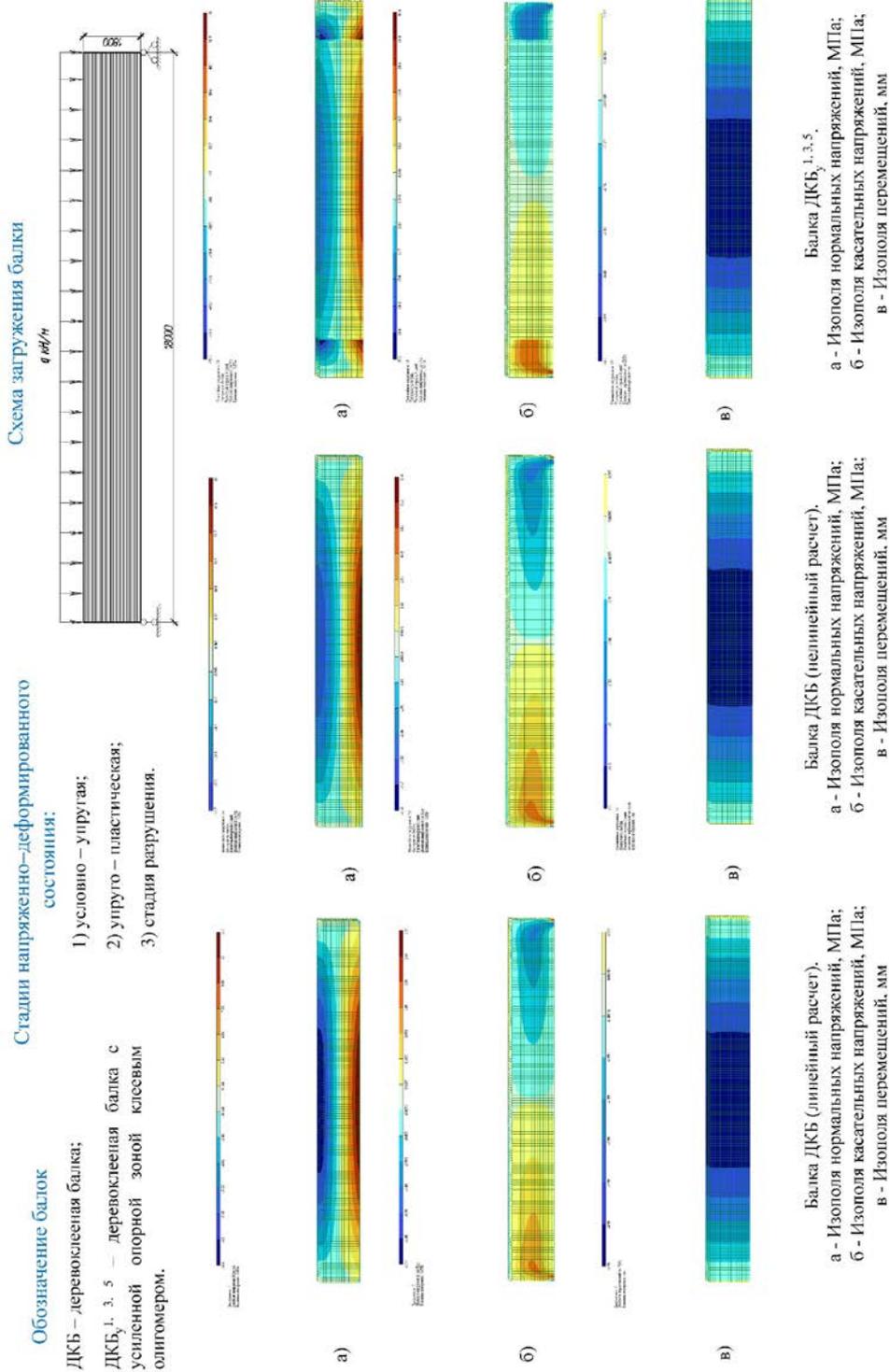
Обозначение балок, принятое в работе

1. ДКБ – деревоклеенная балка;
2. ДКБ_у¹ – деревоклеенная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в один слой ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 0,95$ %);
3. ДКБ_у³ – деревоклеенная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в три слоя ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 2,8$ %);
4. ДКБ_у⁵ – деревоклеенная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в пять слоев ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 4,7$ %);

(l – длина балки; b – ширина балки; h – высота балки; $l_{об}$ – длина усиливающей обоймы, μ – коэффициент армирования).

Пример оформления плаката «Результаты инженерного метода расчета»

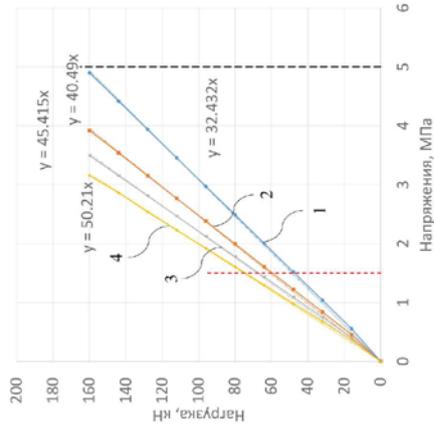
ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПК «ЛИРА 9.6»



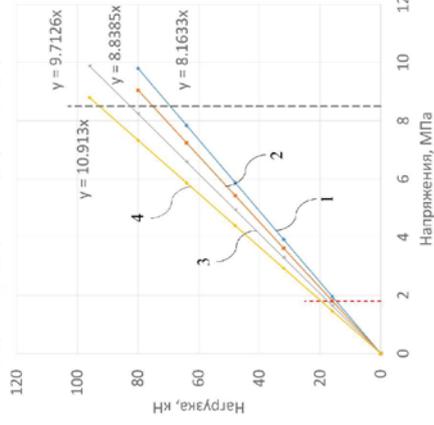
Пример оформления плаката «Численный метод расчета»

9

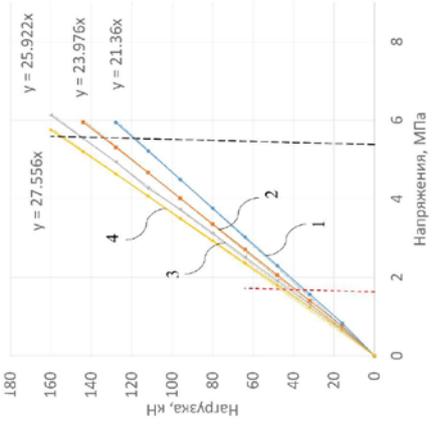
РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК



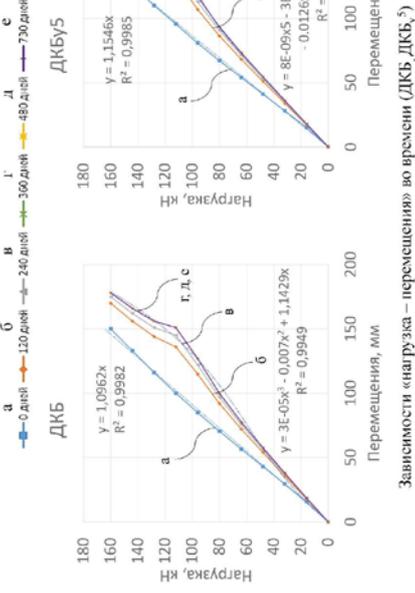
Зависимость «нагрузка – касательные напряжения» для деревоклеенной балки



Зависимость «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» для деревоклеенной балки



Зависимость «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» для деревоклеенной балки (угол $\alpha=24^\circ \dots 25^\circ$)



Зависимости «нагрузка – перемещения» во времени (ДКБ, ДКБУ⁵)

Обозначение балок, принятое в работе

1. ДКБ – деревоклеенная балка;
 2. ДКБУ¹ – деревоклеенная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в один слой ($l_{об}=1,8$ м, $\mu=0,95$ %);
 3. ДКБУ³ – деревоклеенная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в три слоя ($l_{об}=1,8$ м, $\mu=2,8$ %);
 4. ДКБУ⁵ – деревоклеенная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в пять слоев ($l_{об}=1,8$ м, $\mu=4,7$ %);
- (l – длина балки; b – ширина балки; h – высота балки; $l_{об}$ – длина усиливающей облоймы, μ – коэффициент армирования).

Пример оформления плаката «Результаты численного метода расчета»

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выполнены исследования напряженно-деформированного состояния балочных конструкций с усилением приопорных зон клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНГ, в результате которой получена равнопрочная стропильная конструкция.
2. Проведен обзор мирового опыта развития проектирования деревянных и деревоклееных конструкций, усиленных полимерными материалами.
3. Выполнены теоретические исследования деревоклееных балочных конструкций с выбором адекватной физической модели соединения древесины и олигомера.
4. Разработана методика расчета усиленных высоких балочных деревокомпозитных конструкций.
5. Выполнены численные исследования балочных деревоклееных конструкций в программном комплексе «ЛИРА 9.6». Установлено, что касательные напряжения в опорной части усиленной балки уменьшаются на 21, 33 и 41 %, напряжения сжатия поперек волокон в площадке опирания уменьшаются на 8, 16 и 27 %, растягивающие напряжения под углом к волокнам уменьшаются на 11, 20 и 29 % в зависимости от количества слоев обоймы 1, 3 и 5 соответственно.
6. На основе численного исследования сделано заключение, что при длительном действии эксплуатационной нагрузки приращение деформации в усиленной балке увеличиваются до 16, 18 и 19 % в зависимости от количества слоев обоймы 1, 3 и 5 соответственно, и стабилизируются в течение года.
7. Установлено, что расхождение инженерного метода расчета с численным экспериментом составляет по прочности 4...8 %, по жесткости 7...12 %.
8. Результаты исследования можно применить в образовательных программах бакалавриата и магистратуры по направлению подготовки «Строительство».
9. Разработанные технические решения высоких деревоклееных балочных конструкций с усилением приопорных зон олигомером на основе стеклоткани с добавлением УНГ рекомендуется применять при изготовлении, реконструкции и ремонте деревянных клееных балок.

Пример оформления плаката «Выводы и рекомендации»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ПОРЯДОК УТВЕРЖДЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	5
2. НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА	5
3. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА ПОДГОТОВКОЙ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	7
4. РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА	8
5. ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА	9
5.1. Введение ВКР	11
5.2. Основная часть ВКР	16
6. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА	62
7. ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК	76
РЕКОМЕНДОВАННЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	80
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	81

Учебное издание

РОЩИНА Светлана Ивановна
ПОПОВА Марина Владиславовна
ЛИСЯТНИКОВ Михаил Сергеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ, УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОТКАНЬЮ

Учебное пособие к выполнению
выпускной квалификационной работы магистра

Редактор
Технический редактор
Корректор
Компьютерная верстка

Подписано в печать
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 6,75. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
600000, Владимир, ул. Горького, 87