

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

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ  
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА  
НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОЧНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ, УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОТКАНЬЮ



Владимир 2018

УДК 694  
ББК 38.5  
Р82

Рецензенты:

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

Доктор геолого-минералогических наук, профессор  
зав. 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.** Учебное пособие к выполнению выпускной  
Р82 квалификационной работы магистра на примере исследования  
напряженно-деформированного состояния деревоклееных ба-  
лочных конструкций, усиленных стеклотканью / С. И. Рощина,  
М. В. Попова, М. С. Лисятников ; Владим. гос. ун-т им. А. Г.  
и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2018. – 103 с.  
ISBN 978-5-9984-0850-2.

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

Предназначено для студентов вузов очной формы обучения и заочной с эле-  
ментами дистанционных образовательных технологий по направлению подготовки  
08.04.01 «Строительство» (уровень магистратуры; программы «Теория и проекти-  
рование зданий и сооружений», «Техническая эксплуатация и реконструкция зда-  
ний и сооружений», «Проектирование, реконструкция и эксплуатация энергоэф-  
фективных зданий»).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соот-  
ветствии с ФГОС ВО.

Ил. 20. Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.

УДК 694  
ББК 38.5

ISBN 978-5-9984-0850-2

© ВлГУ, 2018

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) магистра является своего рода «диссертацией», выполненной магистрантом на основе его научных изысканий, проведенных под началом научного руководителя. Работа должна отражать личный вклад магистранта в исследуемую проблему и свидетельствовать о способности автора к самостоятельным научным исследованиям или разработкам на основе полученных в процессе обучения теоретических знаний и практических навыков.

Цель написания выпускной квалификационной работы магистра – раскрыть научный и творческий потенциал магистранта, подтвердить его профессиональную квалификацию и показать подготовленность к проведению исследований в соответствии с выбранным направлением подготовки.

По результатам защиты выпускной квалификационной работы магистра Государственная экзаменационная комиссия (ГЭК) дает заключение о возможности присвоения выпускнику магистратуры квалификации «магистр» по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство».

В учебном пособии представлен пример выпускной квалификационной работы по теме «Исследование напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью».

## **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 определяет выпускающая кафедра. Поступающий в магистратуру выбирает одну из указанных тем, согласовывает ее с заведующим выпускающей кафедрой и предполагаемым научным руководителем.

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

Согласованная таким образом тема исследования 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 написания выпускной квалификационной работы 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 работой

могут привлекаться специалисты из числа руководителей и работников организаций (имеющих стаж работы в данной профессиональной области не менее трех лет), деятельность которых связана с направленностью (профилем) реализуемой программы магистратуры.

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 в разработке календарного плана-графика на весь период выполнения работы;

- систематическое консультирование магистранта по проблематике работы, выбору литературы, поиску информации, сбору данных и т. д.; оказание помощи в разработке теоретической и методологической базы исследования;

- содействие в организации консультаций с другими специалистами;

- контроль за ходом исследования и его соответствием утвержденному плану;

- заключительная проверка работы, в том числе на плагиат (объем заимствований не должен превышать 30 %);

- подготовка развернутого письменного отзыва, в котором излагается актуальность темы; определяется личное участие студента в разработке изложенных в выпускной квалификационной работе магистра положений, достоверность этих положений и результатов; указывается степень новизны, научная и практическая значимость результатов исследования; дается заключение о соответствии (несоответствии) представленной 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 предполагает проверку соблюдения магистрантом графика работ, оценку полученных результатов исследований и их представление 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 шесть 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 (прил. 1).

Руководитель организует проверку работы, в том числе на объем заимствований, результат которой указывается в заключении комиссии по антиплагиату (прил. 2) и справке-отчете по антиплагиату (прил. 3), не позднее чем за 15 дней до защиты.

Подписанная научным руководителем работа сдается на бумажном носителе (пояснительная записка и плакаты) не позднее чем за 10 дней до защиты на нормоконтроль, в рамках которого делаются 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 семь дней до защиты.

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

Научный руководитель дает отзыв на ВКР не позднее чем за три дня до защиты.

Не позднее чем за два 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 ГЭК 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.

Выпускные квалификационные работы 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 копию 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; привести замечания по оформлению и стилю изложения материала.

Рецензент в своем заключении рекомендует работу к защите («рекомендуется к защите», «не рекомендуется к защите»), вносит предложение об оценке работы («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно») и присвоении студенту квалификации «магистр» по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство».

## **5. ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА**

Выпускная квалификационная работа магистра должна содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание;
- аннотацию;
- содержание;
- перечень терминов и условных обозначений (при необходимости);
- введение;
- основную часть, разбитую на главы, в которой приводятся анализ научной литературы, описание использованных методов, а также сущность и основные результаты исследования (минимум три 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 согласно прил. 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 согласно прил. 5 и распечатывается на обеих сторонах листа. Оно содержит сведения о теме ВКР, номер приказа об утверждении темы, даты выдачи задания и сдачи готовой



работы. Также в задании приведены 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 прил. 6. Она выполняется на русском и иностранном языке, изучаемом магистрантом в университете. Объем аннотации на каждом языке не должен превышать полутора тысяч печатных знаков. В ней приводят следующие сведения: название; краткое содержание, 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). В аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных документов, избегать сложных грамматических оборотов. Необходимо использовать стандартизированную терминологию, избегать малораспространенных понятий и символов.

**Содержание** дается после аннотации и включает в себя пронумерованные названия глав и подглав, точно соответствующие использованным в тексте работы названиям, с указанием страниц. Содержание оформляется согласно прил. 7.

**Перечень терминов и условных обозначений** содержит расшифровки специальных терминов, малораспространенных сокращений, аббревиатур, условных обозначений, которые располагают в алфавитном порядке (прил. 8). В случае повторения в ВКР специальных терминов, сокращений, аббревиатур, условных обозначений менее пяти раз их расшифровку приводят в тексте при первом упоминании.

**Введение** – см. подробнее подп. 5.1.

**Основная часть** – см. подробнее подп. 5.2.

**Выводы и рекомендации**, как правило, по функциональному значению условно должны разделяться на две части: «Основные научные результаты ВКР» и «Рекомендации по практическому применению результатов ВКР» (прил. 9).

В первой части дается краткое изложение сущности научных результатов ВКР. Здесь магистрант сжато формулирует результаты, за

которые ему может быть присуждена квалификация магистра, начиная с достижения цели исследования, а затем по каждой поставленной задаче.

Во второй части раскрываются возможности практического применения полученных результатов. Здесь же могут быть затронуты перспективы дальнейшего развития данного научного направления.

**Список использованной литературы** (прил. 10) содержит перечень источников информации, на которые в работе приводятся ссылки, и 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», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» и ГОСТ Р 7.0.12-2011 «СИБИД. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила». Минимальное количество использованных источников литературы должно составлять 20 названий, не считая интернет-источников, правовых и нормативно-технических документов. Общее количество источников – не менее 30 названий. Используемая литература должна быть издана за последние 10 лет.

**Приложения** (при необходимости) содержат 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 в себя:

- обоснование выбора темы исследования;
- раскрытие актуальности темы исследования;
- постановку цели или целей исследования;
- определение задач исследования;
- указание объекта и предмета исследования;
- методологию исследования;
- обеспечение достоверности полученных результатов;

- указание на научную новизну работы;
- раскрытие практической ценности работы;
- сведения о реализации результатов работы (при наличии);
- сведения об апробации работы (статьи и доклады на конференциях, акты внедрения, гарантийные письма и т. д.);
- результаты, выносимые на защиту ВКР;
- сведения о структуре и объеме работы (указание полного объема ВКР в страницах, количества иллюстраций, таблиц, приложений, а также использованных источников).

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

Введение, как правило, короткий раздел объемом до пяти страниц.

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

Древесина представляет собой ценнейшее сырье, которое находит самое широкое и многообразное применение. Лесные ресурсы в отличие от угля, руды, нефти восстанавливаемы. К положительным свойствам древесины относят сравнительно невысокую ее плотность при высокой относительной прочности: в 5...7 раз больше, чем у бетона, и всего на 3...4 % меньше, чем у прокатной стали, а также низкую теплопроводность, высокую химическую стойкость, легкость и простоту обработки, хорошие акустические и эстетические качества, относительно невысокую стоимость.

Использование древесины для строительства началось еще в древние времена. В XIX – XX вв. было создано и налажено мануфактурное производство деревянных пиломатериалов и конструкций. Индустриализация позволила сократить время производства и увеличить качество разрабатываемых изделий. После 1950-х гг. начался массовый выпуск заводских клееных деревянных конструкций. Они зарекомендовали себя в строительстве 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 в. древесина продолжает активно использоваться в строительной сфере как ресурсосберегающий (по отношению к стали), экологически чистый материал.

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

### **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 вследствие недостаточной сдвиговой прочности в нейтральной зоне сечения или образования наклонных трещин в материале, вызванного растяжением в древесине под углом к волокнам. Одно из направлений повышения эксплуатационной надежности деревоклееных конструкций – усиление опорных участков, что обеспечивает повышение прочностных показателей и сопротивления скалывающим и растягивающим напряжениям.

Отдельные исследования в этом направлении посвящены применению при изготовлении, монтаже и в эксплуатируемых конструкциях клеенных стержней и накладок, которые имеют свои преимущества и недостатки. Использование в усилении приопорных зон деревоклеенных балочных конструкций клеевых композиций на основе стеклоткани и нанотехнологий – новое направление, требующее проведения специальных исследований.

Таким образом, можно признать актуальной тему выпускной квалификационной работы, связанную с усилением предельно-напряженных опорных зон высоких деревоклеенных балочных конструкций клеевым олигомером на основе стеклоткани с добавлением углеродных нанотрубок (УНТ).

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

#### **Цель и задачи работы**

*Цель* – исследование напряженно-деформированного состояния ресурсосберегающих деревоклеенных 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 проектирования деревянных и деревоклеенных конструкций, в том числе усиленных полимерными и другими материалами;
- выполнить теоретические исследования деревоклееной балочной конструкции с обоснованием физической и математической моделей анизотропного материала;
- разработать методику инженерного расчета высоких деревоклеенных балок, усиленных олигомером на основе УНТ;
- выполнить численный расчет предложенной конструкции в программном комплексе (ПК) «ЛИРА 9.6».

**Объект исследования** – конструкция высоких деревоклеенных 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, методов математического моделирования и принятых в механике гипотез и допущений, сертифицированных программных комплексов, достаточным объемом теоретических исследований, 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 высоких деревоклееных балок с усилением предельно-напряженных приопорных зон. Результаты исследования позволяют расширить область применения высоких деревоклееных балочных конструкций, снижают предельные напряжения в приопорных участках балок и повышают эксплуатационную надежность конструкций.

#### **Апробация работы**

По результатам исследований опубликовано четыре статьи, одна – в издании, рекомендованном Высшей аттестационной комиссией (ВАК), и три – в других периодических изданиях:

**по перечню ВАК:**

1. *Лисятников, М. С.* Расчет и усиление предельно-напряженных приопорных зон высоких деревоклееных балочных конструкций / М. С. Лисятников, С. И. Рощина, А. С. Грибанов, Т. О. Глебова // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5, № 1 (17). – С. 187 – 197.

**в других изданиях:**

2. *Лисятников, М. С.* Численные исследования высоких деревоклееных балок с усилением опорных зон / М. С. Лисятников, М. В. Попова, А. Н. Сергеева, С. А. Сидоров // БСТ. Бюллетень строительной техники. – 2016. – № 5 (981). – С. 35 – 37.

3. *Лисятников, М. С.* Исследование напряженно-деформированного состояния древесины, армированной стеклотканью с включением УНТ, при скалывании вдоль волокон / М. С. Лисятников, С. И. Рощина, Е. А. Смирнов, А. С. Грибанов // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. тр. – Одесса : Одес. гос. акад. стр-ва и архитектуры, 2016. – № 18. – С. 178 – 181.

4. *Лисятников, М. С.* Развитие области применения стеклокомпозитов в деревянных конструкциях / М. С. Лисятников, С. И. Рощина, А. С. Грибанов, М. О. Лисятникова, А. А. Стрекалкин // БСТ. Бюллетень строительной техники. – 2017. – № 5 (993). – С. 50 – 51.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных конференциях Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых в 2015 – 2017 гг., на Международной научно-технической конференции «Строительная наука 2016: теория, практика, инновации Северо-Арктическому региону» (Архангельск, 2016 г.), на XVIII Международной научно-технической конференции «Современные строительные конструкции из металла и древесины» (Одесса, 2016 г.), на Межрегиональной научной конференции «Строительная наука 2017» (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 ВКР**

Работа состоит из аннотации, введения, трех 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 сути выполненных теоретических и (или) экспериментальных исследований;
- описание педагогических приемов и методик, позволяющих применить результаты ВКР при реализации образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство».

Магистрант и его научный руководитель распределяют основной материал ВКР по главам и структурируют по разделам.

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* магистрант характеризует основные подходы к решению поставленных задач, излагает используемые теоретические и (или) экспериментальные методы и обосновывает целесообразность их использования. Обязательно аргументировать выбор объекта и предметов исследования, описать свойства объекта, в первую очередь физическую и математическую модели.



При *изложении сути собственного исследования* магистрант должен выделить то новое, что он вносит в разработку проблемы (задачи) или в развитие конкретных направлений 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 бакалавриата и в каких дисциплинах могут применяться результаты его ВКР. В этой части он описывает возможности использования результатов его работы на лекционных и практических занятиях по конкретным дисциплинам, а также приводит сведения о своей педагогической практике во время обучения в магистратуре.

Весь порядок изложения материала в ВКР должен быть подчинен цели исследования, сформулированной студентом. Дробление на главы и подглавы, 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 аргументированно.

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. На этих выводах базируется формулировка основных научных результатов и практических рекомендаций.

Рассмотрим ниже краткое изложение основной части ВКР на тему «Исследование напряженно-деформированного состояния деревянных 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, на территории которой сосредоточены огромные лесные богатства, целесообразность

использования деревянных конструкций не вызывает сомнения. На применение древесины в строительстве влияют не только количественные запасы, но также и конструкционные, качественные, показатели – значительная прочность и упругость при сравнительно небольшой массе [11].

### **Древесина как конструкционный материал**

Древесина, или ксилема (от греч. *xύλον* – дерево), – сложная ткань древесных и травянистых растений, проводящая воду и растворенные 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<sup>3</sup> 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 имеют 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 использования 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. Историю производства и применения ДК обычно подразделяют на три периода: 1943 – 1955 гг., 1973 – 1988 гг., с 1993 г. по настоящее время [22].

Повышенное внимание к древесине как к конструкционному материалу обусловлено ее анизотропным строением. Анизотропия (от древнегреч. *ἄνισος* – неравный и *τρόπος* – направление) – различие

свойств среды (например, физических и механических: упругости, электропроводности, теплопроводности, показателя преломления, скорости звука или света и др.) в разных направлениях внутри этой среды; противоположность изотропии. Частный случай анизотропии – ортотропия (от древнегреч. ὀρθός – прямой и τρόπος – направление) – неодинаковость свойств среды по взаимно перпендикулярным направлениям. Существенное влияние на анизотропию древесины оказывает также ее анатомическое строение (микростроение) [12].

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

Ориентированное микро- и макростроение древесины обуславливает ее анизотропию не только при механических, но и при других физических свойствах – теплопроводность, тепловое расширение, электропроводность, диэлектрическая проницаемость.

### **Клееные деревянные конструкции. Особенности компоновки поперечных сечений**

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

Клееная деревянная конструкция – это монолитная совокупность деревянных деталей (ламелей) определенных параметров и взаиморасположения, соединенных водостойкой клеевой прослойкой. Они предназначены для выполнения несущих, ограждающих и/или декоративных (эстетических) функций строительных конструкций [38]. Клееные деревянные конструкции отличаются от натуральных деревянных конструкций большей механической прочностью, формостабильностью, долговечностью и надежностью [8; 21]. Область применения КДК – средние, большие и уникальные пролеты (от 12 до 200 м).

Начало истории КДК можно отнести к получению первых патентов О. Гетцером в 1906 г. и Л. Бакеландом в 1909 г. [22].

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 клееных деревянных балочных конструкций в зависимости от используемых в их составе материалов и компоновки поперечного сечения готового изделия представлены на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Виды деревяноклееных балок

В зависимости от очертания балки могут быть прямолинейными с постоянной высотой, двускатными и односкатными, криволинейными с постоянной или переменной высотой, ломаными.

Дощатые многослойные клееные балки получают склеиванием досок по пласти (в отдельных случаях – по ширине) и стыкованием по длине с помощью зубчатого шипа [25].

В покрытиях зданий высоту главных дощатоклееных балок обычно назначают не менее  $1/15$  пролета, а ширину поперечного сечения – не менее  $1/8$  высоты балки, но при этом необходимо соблюдать условие опирания на балки прогонов или деревоклееных плит. При этом высоту и ширину сечения согласуют с толщиной и шириной используемых досок [24] с учетом припусков на острожку досок по толщине и на острожку боковых поверхностей балок после их склейки. По форме 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, применяя в крайних зонах на  $0,15$  высоты поперечного сечения древесину второго, а в средней части – третьего сорта. Рекомендуется 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 клеефанерных 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  $1/8...1/10$  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  $1/16$  пролета.

Балки треугольного поперечного сечения применяют как наклонные стропила. Устанавливая их вплотную, собирают настилы, используют их 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 повышение 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 1926 г. А. Фишер (Германия). Первые разработки и исследования клееных армированных деревянных конструкций провел Х. Гранхольм. Соединение арматуры с древесиной в этих конструкциях выполнялось с помощью эпоксидных и фенолформальдегидных клеев [17].

Армированные балки целесообразно использовать тогда, когда по каким-либо причинам их высота должна быть принята менее  $1/12...1/15$  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, листовую сталь, в том числе перфорированную стальную ленту, углепластиковую арматуру 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 клееных стержней армируют балки только у опор для восприятия напряжений скалывания, местное армирование поперечными стержнями используют на участках балок (например, криволинейного очертания), где возникают опасные растягивающие напряжения поперек волокон и т. д. [34]. Армирование на части длины выполняют также и в пролете балочных конструкций, где появляются 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, прикрепленного на сварке к клееным под углом стержням в растянутой или сжатой зонах [29]; стеклотканью в растянутой и/или сжатой зонах с термоупрочнением клеевого состава [5; 32] и т. д.

### **Стеклоткани: основные характеристики**

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

Появление стеклоткани произошло при следующих обстоятельствах. Ученые «Corning Glass» при помощи расплавленного стекла соединяли два стеклянных блока. Случайный обрыв воздухопровода привел к тому, что в расплавленное стекло под большим давлением попала струя сжатого воздуха. В результате образовался фонтан из

стеклянных волокон, что и натолкнуло исследователей на идею создания стекловолокна. В 1936 г. вследствие продолжительных экспериментов появилась стекловолоконная ткань, которая вместе со стекловолокном стала ключевым звеном в процессе создания 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 условий ткачества. Безусловно, благодаря своим свойствам стеклоткань получила широкое распространение в промышленности, в строительстве, в частности в деревокомпозитных конструкциях.

Поверхностная плотность стеклотканей может составлять 200...1800 г/м<sup>2</sup>. 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 определенной степени на свойства композитных конструкций с их применением. В ряде случаев использования стеклотканей требуются специальные виды переплетений. Для стеклотканей выделяют полотняные, саржевые, сатиновые и многие другие плетения, которые соответствуют видам плетения текстильных изделий.

Вид стеклоткани определяется составом и свойствами волнообразующего стекла, из которого ее 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, для решения 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 – изгиб. Критерии работы древесины в этом случае можно свести к теории классического разрушения. В подавляющем большинстве случаев потеря несущей способности или разрушение конструкции происходят 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 распределенной нагрузки в опорной зоне возникают следующие напряженные состояния:

- 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 волокон и под углом к ним в 10 и более раз меньше расчетного сопротивления изгибу. Исследования показали, что приведенные суммарные напряжения под углом к волокнам, хотя и незначительные, часто оказываются соизмеримыми с сопротивлением клееной древесины в соответствующих направлениях и становятся более опасными, чем максимальные [22]. Вследствие 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 свойствен и высоким деревоклееным балкам перекрытия и покрытия, клееным балкам-вставкам в перекрестно-балочных системах, где выполняются условия

$$h > \frac{lR_{ск}}{R_{и}}, \quad (5.1)$$

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

где  $h$  – высота сечения балки, см;

$l$  – пролет балки, см;

$R_{ск}$  – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон, МПа;

$R_{и}$  – расчетное сопротивление древесины изгибу, МПа.

Из неравенств 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 (описан в работе [3])

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

Эту проверку предлагается проводить 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 прочности 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. [22]. Проанализировав все вышесказанное, можно сделать вывод о сложноподвижной работе древесины вследствие анизотропии строения, а также о необходимости в определенных случаях усиливать опорные зоны балочных конструкций.

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

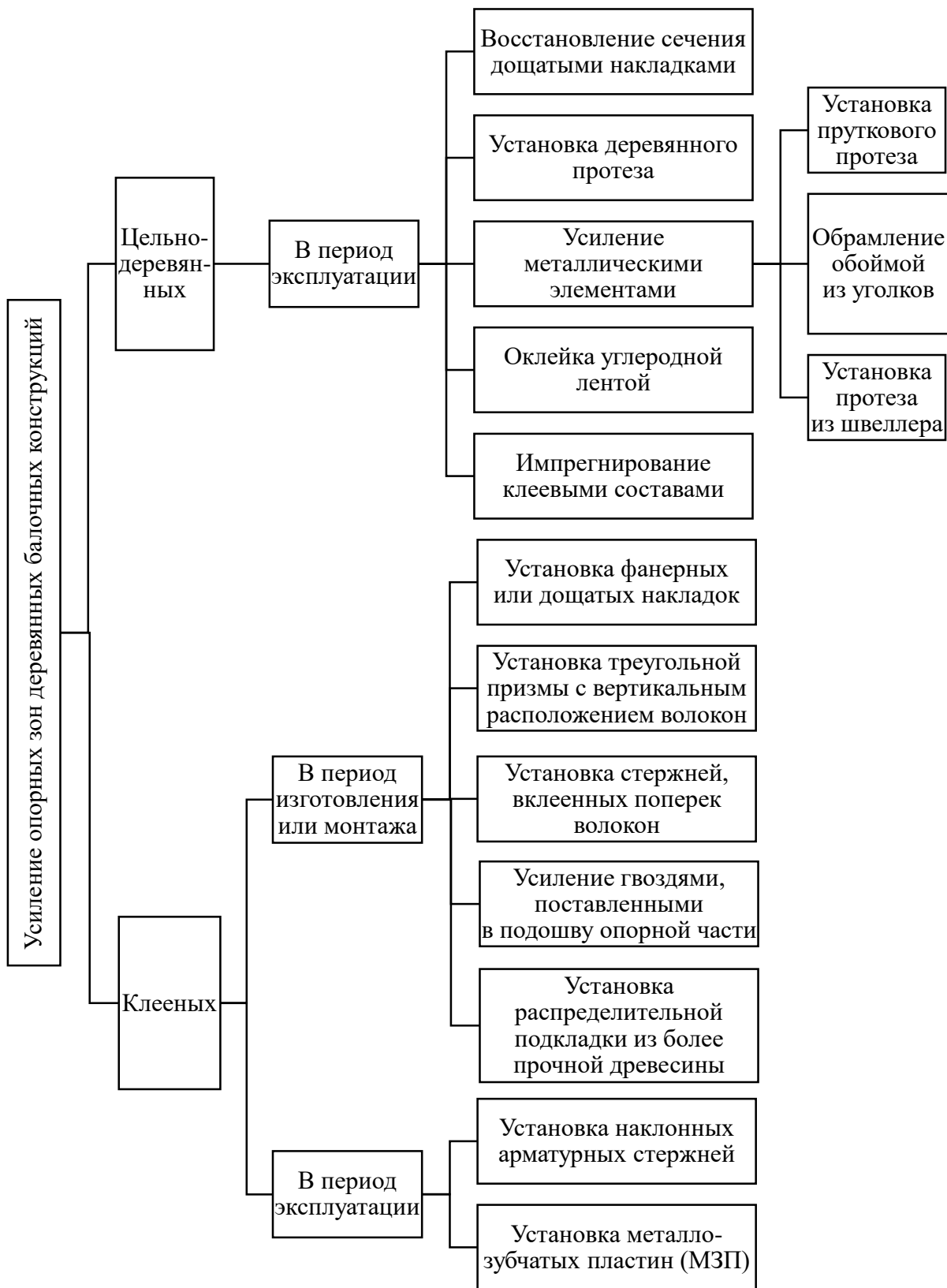


Рисунок 5.2 – Усиление опорных зон деревянных балочных конструкций

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. Также неудовлетворительная гидроизоляция концов балок в местах опирания их на каменные стены ускоряет процесс разрушения древесины.

Самые распространенные методы усиления опорных зон цельнодеревянных балок – это восстановление сечения досчатыми накладками и установка деревянного протеза.

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

В последние годы все больше развивается химическая промышленность, что приводит к появлению различных материалов и полимеров, используемых для усиления деревянных балочных конструкций.

Существует метод усиления опорных зон деревянной балки углеродной лентой, наклеенной на боковые грани по главным растягивающим напряжениям под углом  $30^\circ$  [36]. Также возможен метод усиления опорных участков балок, заключающийся в восстановлении несущей способности деструктированных деревянных элементов путем применения композитных полимерных составов [23].

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-е гг. XX столетия, к началу нового тысячелетия выявился один общий дефект в опорной зоне, вызванный сдвиговыми усилиями. Основные направления усиления приопорных участков эксплуатируемых клееных балок – вклеивание наклонных стержней, установка накладок или МЗП.

Усиление конструкций от сдвига опорных узлов проводится с использованием стержней, вклеенных под углом  $30...45^\circ$  к направлению волокон [34]. Первые же опыты, проведенные на экспериментальной базе Волоколамского завода строительных материалов, 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» Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова (САФУ) профессором Б. В. Лабудиным и доцентом А. В. Карельским предложен метод усиления опорных зон деревоклееных балок при помощи МЗП [14]. 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 крепеже 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 выпиливается уголок под наклоном  $45^\circ$ , затем после разворота на  $90^\circ$  вклеивается

обратно. Этим достигается максимальное сопротивление древесины смятию по контактной поверхности балки с опорной частью [18].

Возможен метод усиления стержнями, вклеенными поперек волокон [3], при этом стержни устанавливаются в один или два ряда в зависимости от значения опорной реакции.

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

Во время монтажа дощатоклееных конструкций также можно уменьшить смятие опорной площадки путем установки распределительной подкладки из более прочной древесины [Там же].

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

### **Применение наноматериалов в клеевых композициях**

Наноматериалы – это 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 используют 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 развитии и применении наномодифицированных клеевых композиций, полимеров и препрегов достиг Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ).

Клеевая композиция – это многокомпонентная композиция на основе органических или неорганических веществ, способная 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, соединенных 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 [30].

Для ремонта вышеперечисленных дефектов и упрочнения зон концентрации напряжений специалистами Центрального аэрогидродинамического института (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» [26]. Предел прочности наномодифицированного клеевого соединения увеличился на 26 % по сравнению с таковым у 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 пленки, образованные полиуретановым клеем, модифицированным наносоединениями углерода фуллеренового ряда указанного состава, а также фуллереновой сажей (фуллеренсодержащий технический углерод). Модификация клеевых композиций фуллереновой смесью указанного состава проводилась путем внесения толуольного раствора смеси фуллеренов необходимой концентрации в 3%-й 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 фуллеренсодержащий технический углерод, и фуллереновые смеси переменного состава могут быть использованы для получения клеевых композиций повышенной прочности, которая в таких композициях 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 с помощью 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 клеевых конструкций [20]. Результат применения клеевых препрегов – снижение многих ключевых параметров: цикла изготовления конструкций в 2...3 раза, трудоемкости изготовления конструкций на 40...50 % по сравнению с обычными клеевыми конструкциями (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 применяют эпоксидные олигомеры, модифицированные полисульфонами, отверждаемые как самостоятельно, так и в сочетании с отвердителем.

В качестве тканевой составляющей используют стеклоткань и углеродную ткань, в частности фирмы «Porcher» (Франция) [15]. Ткань этой фирмы выгодно отличается от зарубежных и отечественных аналогов прочностью при растяжении (1800 МПа против 600...1250 МПа).

Прочность препрега можно увеличить за счет создания необходимой степени анизотропии в соответствии с условиями работы конструкции. Прочностные характеристики готовых препрегов варьируются в пределах от 1100 до 1600 МПа [16].

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 проводили по европейской методике [4]. Результаты опытов показали, что клей не обладает достаточной прочностью и водостойкостью и требует модификации.

Для повышения прочностных качеств клеев было выявлено три основных метода на основе введения в состав:

- карбамидной смолы;
- 5 % полиизоцианата, который превращает клей из термопластичного в терморезистивный и делает его более твердым и водостойким;
- нанодобавки.

Наиболее применимые и перспективные материалы нанометрического диапазона – это нанопорошки металлов, диоксида кремния, диоксидов титана, сульфата бария, оксидов алюминия, циркония. Именно такие порошки используются в качестве добавок к клею и вводятся в его состав в виде суспензии «жидкость – наноматериал».

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

Эпоксидные олигомеры – основа многочисленных клеящих систем, прежде всего высокопрочных конструкционных клеев, благодаря сочетанию исключительно ценных свойств:

- способности быстро отверждаться при комнатной и повышенных температурах и образовывать прочные пространственные полимеры с хорошими адгезионными свойствами;
- отсутствию летучих веществ при отверждении;
- возможности использования в клеевых системах без применения растворителей;
- относительно невысоким остаточным напряжениям в отвержденном состоянии и малой усадке;
- стойкости к термоокислительной деструкции;
- теплостойкости, достигающей 200 °С и кратковременно 315 °С;
- исключительно широким возможностям модификации с целью изменения прочностных, эластических свойств и температурных характеристик;

– возможности получения армированных и неармированных пленочных клеев;

– высоким диэлектрическим характеристикам.

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

Углеродные нанотрубки – это протяженные 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 свернутых в трубку графеновых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена [13].

Идеальная нанотрубка представляет собой свернутую в цилиндр графитовую плоскость, т. е. поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Результат получения идеальной нанотрубки зависит от угла ориентации графитовой плоскости относительно оси нанотрубки. Угол ориентации, в свою очередь, задает хиральность нанотрубки, которая определяет, в частности, ее электрические характеристики.

История создания УНТ точно не известна. Сразу несколько ученых, экспериментировавших в разное время и независимо друг от друга, могут претендовать на звание первооткрывателя в этом вопросе. Например, в 1974 – 1975 гг. группа японских ученых под руководством Моринобу Эндо проводила эксперименты в этой сфере. Советский химик А. А. Корнилов в 1986 г. не только теоретически обосновал существование однослойных углеродных нанотрубок, но и зафиксировал свои размышления касательно их свойств упругости. Также известно, что в 1991 г. наблюдения структуры многослойных нанотрубок проводил сотрудник японской корпорации NEC Сумио Иидзима. В 1992 г. в научно-популярном журнале «Nature» был опубликован материал, из которого следовало, что первые свидетельства существования нанотрубок и их исследования зафиксированы в 1952 г. (статья советских физиков

Я. А. Лукьяновича и Л. В. Радушкевича сообщала об электромикроскопическом наблюдении волокон, имеющих диаметр порядка 100 нм).

Что касается вопроса получения УНТ, то наиболее широко распространенный метод предполагает термическое распыление графитового электрода в плазме дугового разряда, горящей в атмосфере гелия. Этот метод, лежащий также в основе наиболее эффективной технологии производства фуллеренов, позволяет получать 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 разнообразное применение: добавки в полимеры; катализаторы; аноды в литиевых батареях; композиты (заполнители или покрытия); нанозонды; датчики; усиление композитов; суперконденсаторы и т. д.

В настоящее время главные области применения углеродных нанотрубок – электроника, спортивные товары, авиа- и автомобилестроение [28]. 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 деревоклееных конструкций, то добавление в клеевой состав УНТ вызывает ряд технологических проблем. Использование модифицированных связующих для изготовления деревокомпозитных 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 задачи интеграции УНТ в клеевой состав ВИАМ и ВлГУ совместно с ТГТУ и ООО «Нанотехцентр» (г. Тамбов) использовали процесс совмещения эпоксидной смолы с различными типами УНТ, включающий три стадии:

– ультразвуковое диспергирование УНТ в смеси эпоксидного олигомера ЭД-20 и органического растворителя в течение 40 мин;

– смешивание дезагрегированных дисперсий с помощью трехвалкового смесителя;

– термообработку дисперсии при температуре 120 °С в течение двух часов.

В результате была получена эпоксидная смола с включением УНТ, которые были равномерно диспергированы по объему. Затем было проведено исследование прочностных показателей ЭД-20 с включенными в его состав нанотрубками при холодном и горячем отверждении (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Результаты испытания образцов эпоксидной смолы

Вид испытываемой смолы	Прочность при холодном отверждении (t = 20 °С), МПа		Прочность при двухстадийном отверждении, МПа, при температуре второй стадии, °С					
			50		60		70	
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	

Примечание – В каждом столбце указаны среднеарифметическая прочность состава и процентное соотношение с аналогом. 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 ВИАМ [37]. В результате исследований было установлено, что прочность эпоксидной матрицы ЭД-20, имеющей в своем 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 моделей и обеспечение точности моделирования считаются одними 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 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 считать все материалы до некоторых пределов нагружения упругими и подчиняющимися закону Гука [12]. Деформации считаются упругими, если они полностью и мгновенно исчезают после снятия нагрузки, сразу восстанавливаются первоначальные форма и размеры тела, причем последние не зависят от скорости нагружения. Модель упругого 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  $\varepsilon$  – относительная деформация;  
 $\sigma$  – нормальные напряжения, МПа;  
 $E$  – модуль упругости, МПа.

Значение деформации зависит от направления действия и значений напряжений, следовательно, закон Гука для анизотропных тел имеет другой вид. Для упрощенного представления формулы 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:

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

где  $ijk$  и  $l$  последовательно принимают значения 1, 2 и 3;

$\sigma_{ij}$  – нормальные напряжения, МПа;

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

$\varepsilon_{kl}$  – относительная деформация.

Одна из наиболее простых моделей упругого анизотропного тела – 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 значения 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  $\sigma$  – нормальные напряжения, МПа;

$A_1$  и  $A_2$  – константы, имеющие размерность напряжений, МПа;

$\varepsilon$  – 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 термовязко-

упругости. Расчетная схема при этом рассматривается на основе сплошной анизотропной квазигомогенной среды [12]. 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  $\varepsilon_0$  – относительная начальная деформация;

$t$  – время нагружения/разгрузки системы, с, т. е. время, в течение которого к системе прикладывают нагрузку для появления деформаций, а затем полностью убирают;

$\tau$  – время релаксации системы, с, т. е. время, в течение которого деформации в системе уменьшаются в 2,718 раз.

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  $\varepsilon$  – относительные деформации;

$t$  – время, с;

$\sigma$  – нормальные напряжения, МПа;

$E$  – модуль упругости, МПа;

$\mu$  – вязкость, МПа · с.

Некоторые зарубежные исследователи использовали для описания деформации анизотропных тел модель тела Бюргера, которая включает в себя остаточные деформации в виде последовательного присоединения 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  $\tau$  – напряжения сдвига, МПа;

$G$  – модуль сдвига второго рода, МПа;

$\mu$  – вязкость, МПа · с;

$\varepsilon$  – линейные деформации, м.

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

В результате объединения двух моделей появилась реологическая модель анизотропного упруго-пластично-эластического тела. При мгновенном нагружении постоянной силой одновременно возникают упругая  $\varepsilon_y$  и пластическая  $\varepsilon_{II}$  деформации. 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

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

где  $\sigma$  – нормальные напряжения, МПа;

$E_1$  – мгновенный модуль упругости, МПа;

$E_3$  – коэффициент пропорциональности, модуль пластической деформации, его значение не зависит от значения напряжения, действующего на образец;

$E_2$  – модуль упругости второго рода, МПа;

$e$  – основание натурального логарифма;

$\eta_2$  – коэффициент эластичности;

$\tau$  – время нахождения образца под нагрузкой, с.



Рассмотренные выше модели упругого и упруго-пластично-эластического 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 моделей необходимо ввести следующие гипотезы и допущения:

- толщиной клеевых прослоек между деревянными заготовками можно пренебречь. Их толщина бесконечно мала относительно высоты клееного пакета. Древесина рассматривается как однородный материал;

- физико-механические свойства древесины в пределах сечения усредняются;

- не учитывается влияние локальных дефектов, находящихся в пределах норм и правил;

- материал следует обобщенному закону Гука, компоненты напряжений и деформаций имеют линейную зависимость.

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

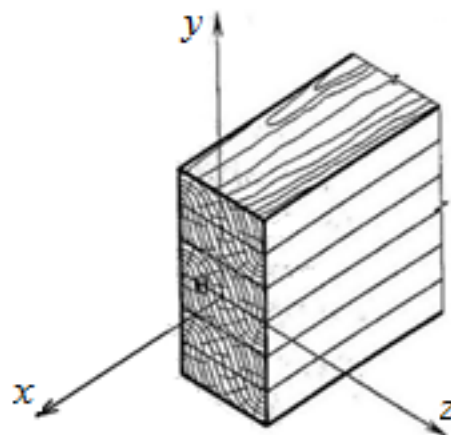


Рисунок 5.3 – Клееный пакет как трансверсально-изотропный материал

Обобщенный закон Гука для рассматриваемого пакета можно записать в следующем виде:

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

где  $\varepsilon$  – линейные деформации, м;

$E$  – модуль упругости (модуль Юнга), МПа;

$\sigma$  – нормальные напряжения, МПа;

$\mu$  – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона);

$\gamma$  – угловые деформации, рад;

$G$  – модуль сдвига, МПа;

$\tau$  – касательные напряжения, МПа.

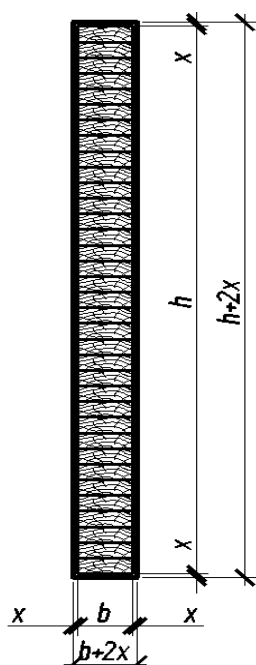


Рисунок 5.4 – Поперечное сечение деревоклееной балки с усилением опорной зоны:  $b$  – ширина балки, см;  $h$  – высота балки, см;  $x$  – толщина усиления, см

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

Поперечное сечение деревоклееной балки с усилением опорной зоны изображено на рисунке 5.4.

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

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

Положение центра тяжести симметрично усиленного сечения находим по формуле

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

Площадь усиленной балки

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

Площадь балки без усиления

$$A_{др} = bh. \quad (5.14)$$

Площадь элемента усиления (олигомера)

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

Коэффициент приведения

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

где  $E_{снк}$  – модуль упругости усиливающего материала, МПа;

$E_{др}$  – модуль упругости древесины, МПа.

Приведенная площадь поперечного сечения балки с усилением

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

Коэффициент армирования

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

Упростим выражение 5.17, подставив  $\mu$ . Тогда приведенная площадь поперечного сечения балки с усилением

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

Статический момент инерции усиленной балки относительно центральной оси

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

Статический момент инерции балки без усиления относительно центральной оси

$$S_{др} = \frac{bh^2}{8}. \quad (5.21)$$

Статический момент инерции элемента усиления относительно центральной оси

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

Статический момент инерции приведенного сечения балки с усилением относительно центральной оси

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

Момент инерции усиленной балки

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

Момент инерции сечения балки без усиления

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

Момент инерции элемента усиления

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

Момент инерции приведенного сечения балки с усилением

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

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 стадия, упруго-пластическая стадия и стадия разрушения [23].

Стадия условно-упругой работы характеризуется значениями деформаций, не превышающими предельных значений упругих деформаций. Стадия упруго-пластической работы связана с 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. Деревянная балка ( $l = 18$  м;  $b = 0,24$  м;  $h = 1,8$  м) с шарнирным опиранием загружена равномерно-распределенной нагрузкой  $q$ . Обозначения балок, принятые в работе:

- 1) ДКБ – деревянная балка;
- 2) ДКБ<sub>у</sub><sup>1</sup> – деревянная балка с опорной зоной, усиленной клеевым олигомером в один слой ( $l_{об} = 1,8$  м,  $\mu = 0,95$  %);
- 3) ДКБ<sub>у</sub><sup>3</sup> – деревянная балка с опорной зоной, усиленной клеевым олигомером в три слоя ( $l_{об} = 1,8$  м,  $\mu = 2,8$  %);
- 4) ДКБ<sub>у</sub><sup>5</sup> – деревянная балка с опорной зоной, усиленной клеевым олигомером в пять слоев ( $l_{об} = 1,8$  м,  $\mu = 4,7$  %).

Здесь  $l$  – длина балки;  $b$  – ширина балки;  $h$  – высота балки;  $l_{об}$  – длина усиливающей обоймы;  $\mu$  – коэффициент армирования.

Методика инженерного расчета приведена для 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  $\tau$  в древесине усиленной балки относительно нейтральной оси не должны превышать расчетного сопротивления скалыванию:

$$\tau = \frac{QS_{\text{пр}}}{(b + 2xn)I_{\text{пр}}} \leq R_{\text{ск}}. \quad (5.29)$$

Для неусиленной прямоугольной деревоклееной балки  $S = \frac{bh^2}{8}$  и  $I = \frac{bh^3}{12}$ . Тогда максимальные касательные напряжения в древесине неусиленной балки относительно нейтральной оси не должны превышать расчетного сопротивления скалыванию:

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

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

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

Площадь опирания для деревоклееной балки

$$A_{\text{оп}} = bl_{\text{оп}}. \quad (5.32)$$

Площадь опирания для усиленной деревоклееной балки

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

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

Максимальные растягивающие напряжения под углом к волокнам  $\sigma_1$  на расстоянии  $0,9h$  от опоры [33] не должны превышать расчетного сопротивления при растяжении под углом к волокнам:

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

где  $\sigma_1$  – главные растягивающие напряжения, МПа;

$\sigma_x$  – нормальные напряжения вдоль волокон, МПа;

$\sigma_y$  – нормальные напряжения поперек волокон, МПа;

$\tau_{xy}$  – скалывающие напряжения, МПа;

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

Численными исследованиями выявлены значения  $\sigma_1$  по высоте сечения балок. Максимальные растягивающие напряжения под углом к волокнам возникают в точке, находящейся на высоте около  $\frac{1}{3}h$ .

Угол наклона  $\alpha$  направления главного растягивающего напряжения определяется по следующим формулам:

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

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

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

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

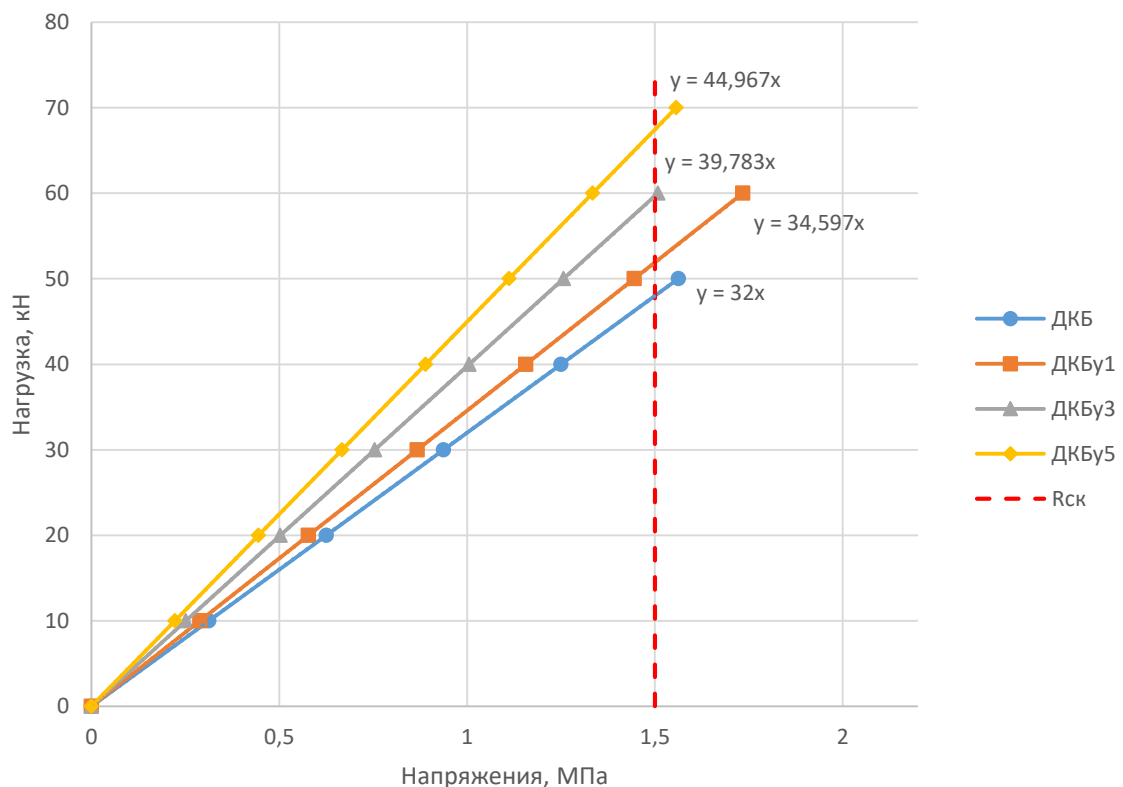


Рисунок 5.5 – Зависимость «нагрузка – касательные напряжения» для деревоклееной балки (инженерный расчет)

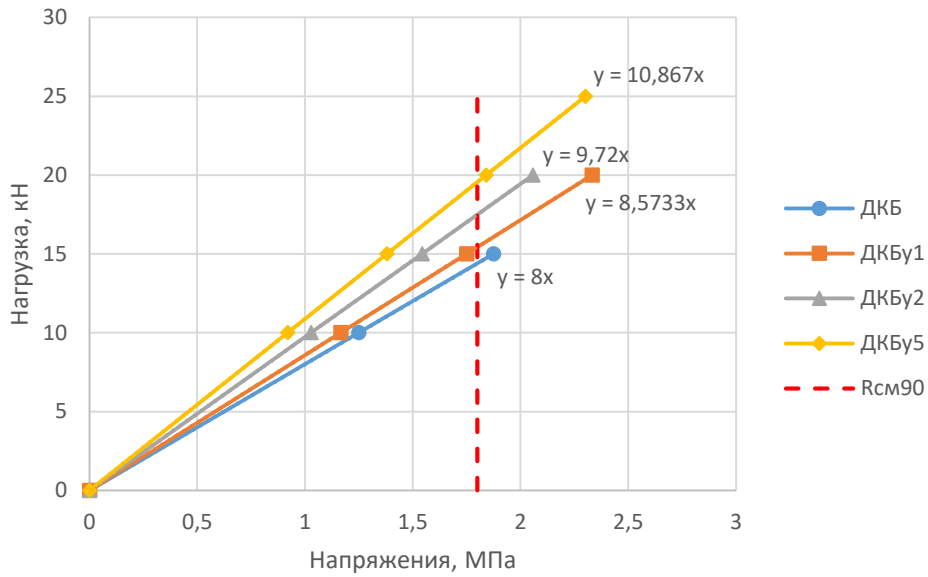


Рисунок 5.6 – Зависимость «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» для деревоклееной балки (инженерный расчет)

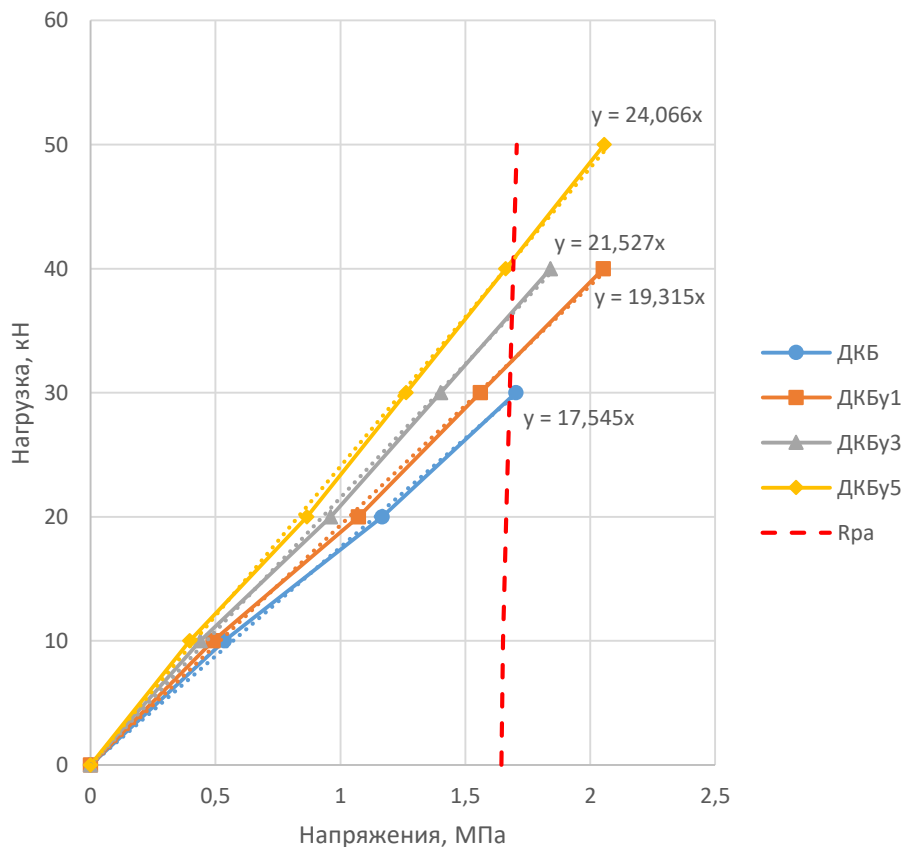


Рисунок 5.7 – Зависимость «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» для деревоклееной балки (угол  $\alpha \approx 24...25^\circ$ ) (инженерный расчет)



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

1. Создание новой задачи с шестью степенями свободы в узле.

2. Геометрическое построение объекта.

2.1. Задание узловых точек поперечного сечения деревянной балки (ширина, высота) в осях  $Y0Z$ .

2.2. Задание узловых точек поперечного сечения элемента усиления (толщина, высота) в осях  $Y0Z$ .

2.3. Добавление контуров и сетки узлов отдельно 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  $X0Z+$ ).

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 подп. 2.3. После создания объемного тела пластины, созданные в подп. 2.1. и 2.2, удаляются.

2.6. Сшивка совпадающих узлов (упаковка схемы).

3. Задание граничных условий конструкции.

3.1. Определение узлов опирания конструкции в плоскости  $X0Z$  (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. 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:  $E = 10\,000 \text{ МПа}$ ;  $E_2 = 400 \text{ МПа}$ ;  
 $E_3 = 10\,000 \text{ МПа}$ ;
- 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 восьмиузловой 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 Белянкина – Прагера [27]. После проведения экспериментальных исследований на стандартных образцах закон корректируется согласно полученной при испытании диаграмме «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 клевого 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:  $E = 86\,000 \text{ МПа}$ ;  $E_2 = 55\,000 \text{ МПа}$ ;  
 $E_3 = 86\,000 \text{ МПа}$ ;
- коэффициенты Пуассона:  $V = V_{13} = V_{31} = V_{32} = 0,34$ ;  
 $V_{21} = V_{23} = 0,25$ ;
- модули сдвига:  $G_{12} = G_{13} = G_{23} = 30\,000 \text{ МПа}$ .

## 5. Задание нагрузок на узлы и элементы.

5.1. Задание нагрузки, равной 1/10 от разрушающей нагрузки, в первом нагружении (ступенчатое нагружение). Нагрузка задается на КЭ распределенной по всему объему в направлении оси Z.

5.2. Копирование первого нагружения в нагружение 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 нагружениях.

5.4. При нелинейном расчете необходимо задать «моделирование нелинейных нагружений конструкций». Каждое из десяти нагружений разбивается на четыре равномерных шага с максимальным числом итераций 300 (шагово-итерационный расчет). В нагружениях указывается ползучесть «120 240 360 480 730».

## 6. Выполнение расчета.

### 7. Визуализация и анализ результатов.

7.1. Отображение деформированной схемы конструкции.

7.2. Отображение картины распределения усилий (изополя напряжений).

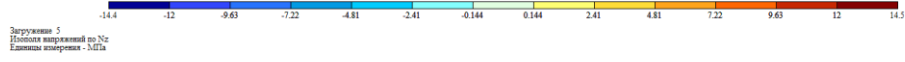
7.3. Отображение перемещений узлов и контуров конструкции (изополя перемещений).

7.4. Анализ напряженного состояния конкретных областей приорных зон путем их фрагментации.

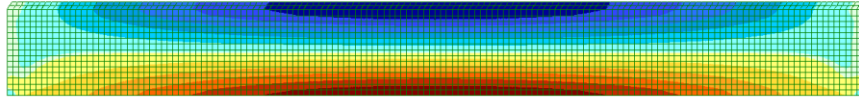
Расчет проводился с учетом физической нелинейности материала древесины.

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

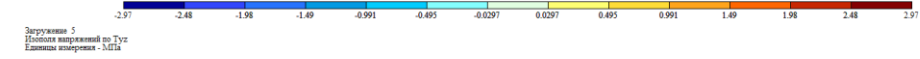
а)



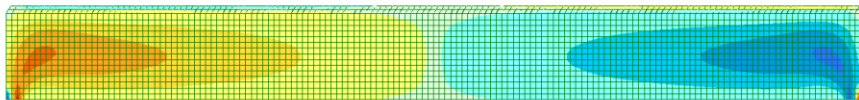
Загрузка 5  
Изополя напряжений по Nz  
Единица измерения - МПа



б)



Загрузка 5  
Изополя напряжений по Txy  
Единица измерения - МПа



в)



Загрузка 5  
Изополя перемещений по Z(O)  
Единица измерения - мм

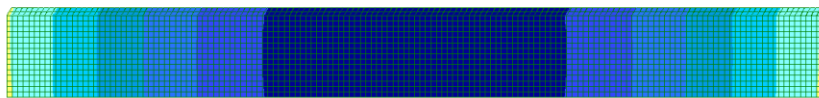
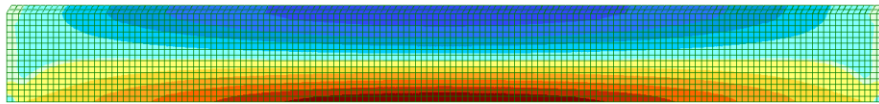
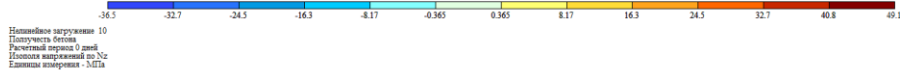
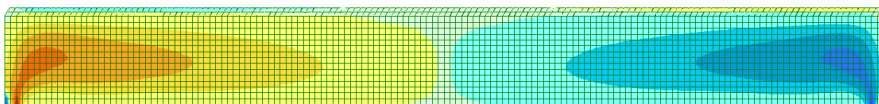


Рисунок 5.8 – Балка марки ДКБ (линейный расчет):  
а – изополя нормальных напряжений, МПа; б – изополя касательных напряжений, МПа; в – изополя перемещений, мм

а)



б)



в)

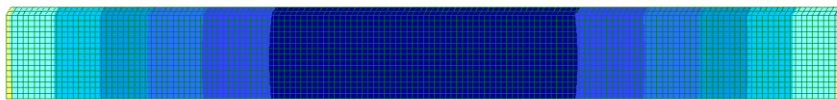
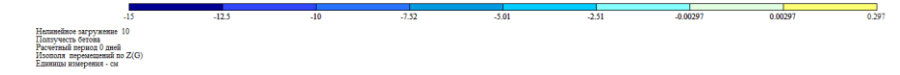


Рисунок 5.9 – Балка марки ДКБ (нелинейный расчет): а – изополя нормальных напряжений, МПа; б – изополя касательных напряжений, МПа; в – изополя перемещений, мм

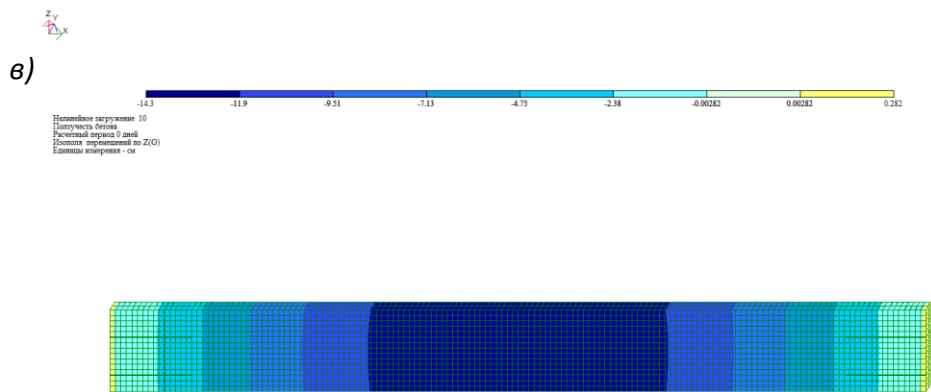
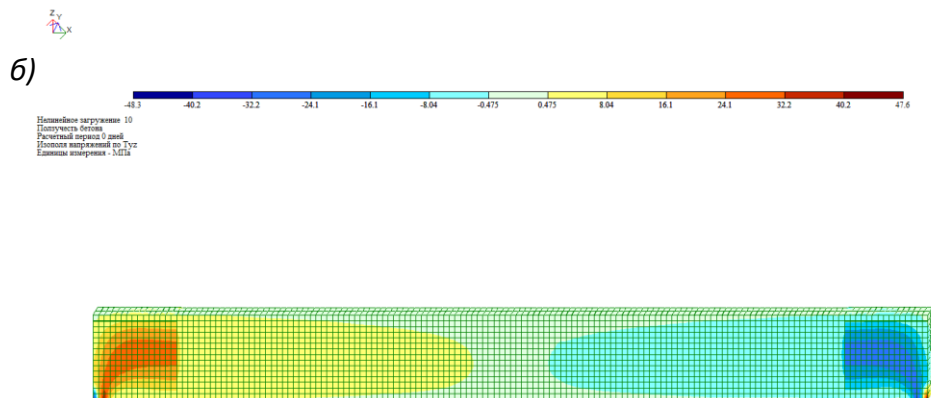
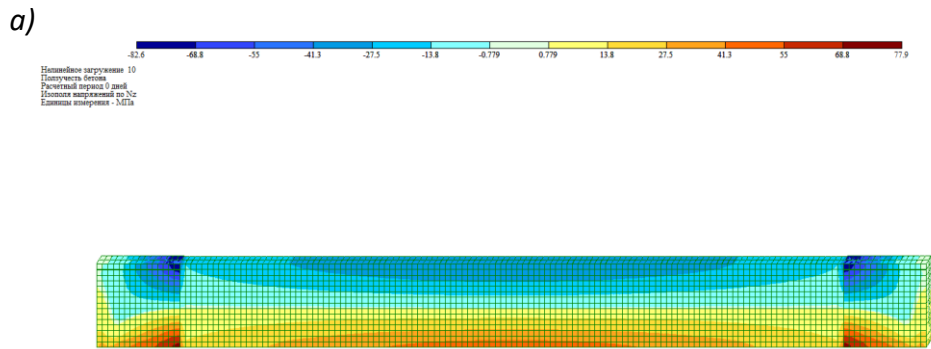


Рисунок 5.10 – Балка марки ДКБ<sub>у</sub><sup>1</sup>: а – изополя нормальных напряжений, МПа; б – изополя касательных напряжений, МПа; в – изополя перемещений, мм

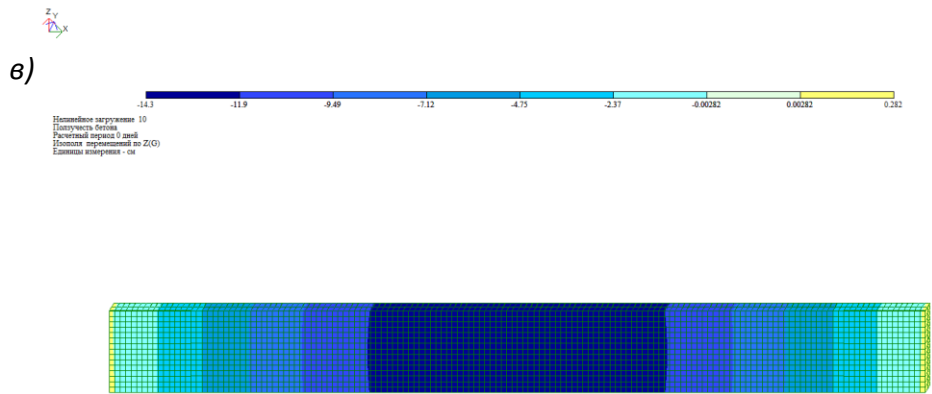
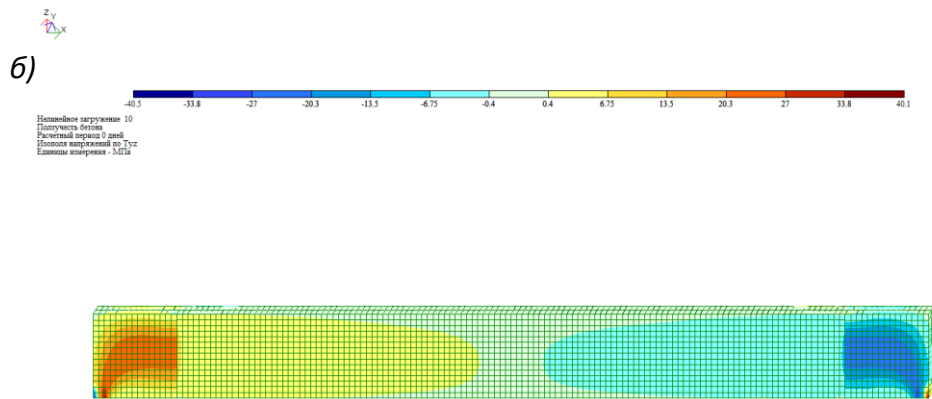
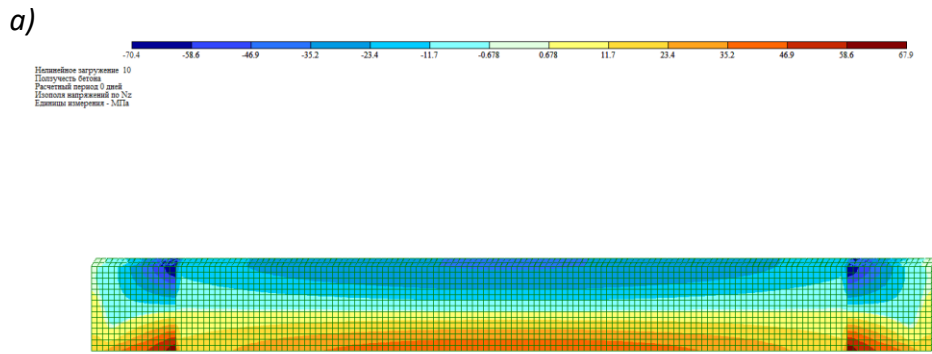
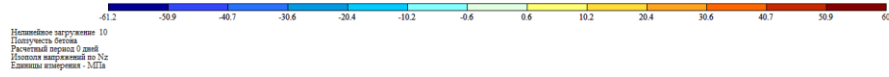
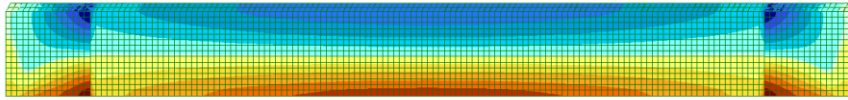


Рисунок 5.11 – Балка марки ДКБ<sup>3</sup>: а – изополя нормальных напряжений, МПа; б – изополя касательных напряжений, МПа; в – изополя перемещений, мм

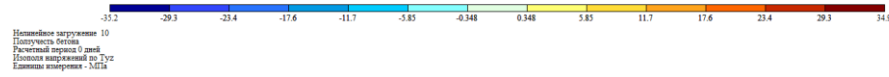
а)



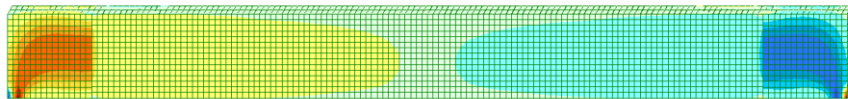
Наибольшее нагружение: 10  
Получить бетона  
Расчетный период: 0 дней  
Изоплюга напряжений по Zz  
Единицы измерения: МПа



б)



Наибольшее нагружение: 10  
Получить бетона  
Расчетный период: 0 дней  
Изоплюга напряжений по Tyxz  
Единицы измерения: МПа



в)



Наибольшее нагружение: 10  
Получить бетона  
Расчетный период: 0 дней  
Изоплюга перемещений по Zz(G)  
Единицы измерения: мм

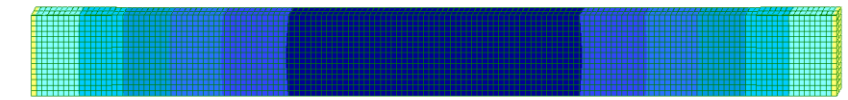


Рисунок 5.12 – Балка марки ДКБ $\gamma^5$ : а – изополя нормальных напряжений, МПа; б – изополя касательных напряжений, МПа; в – изополя перемещений, мм



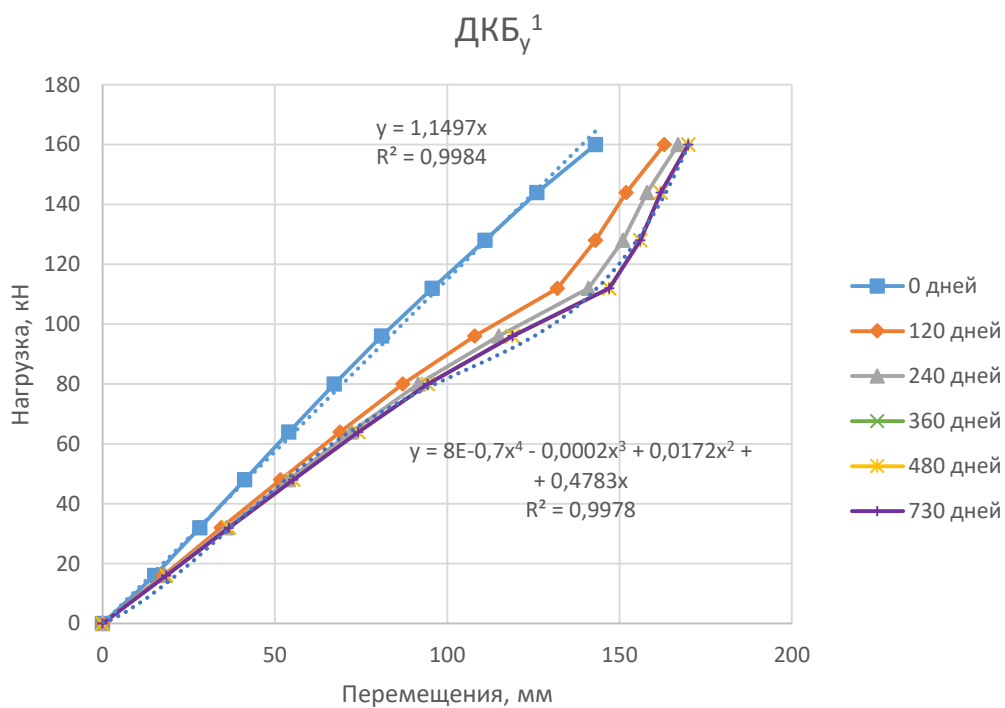
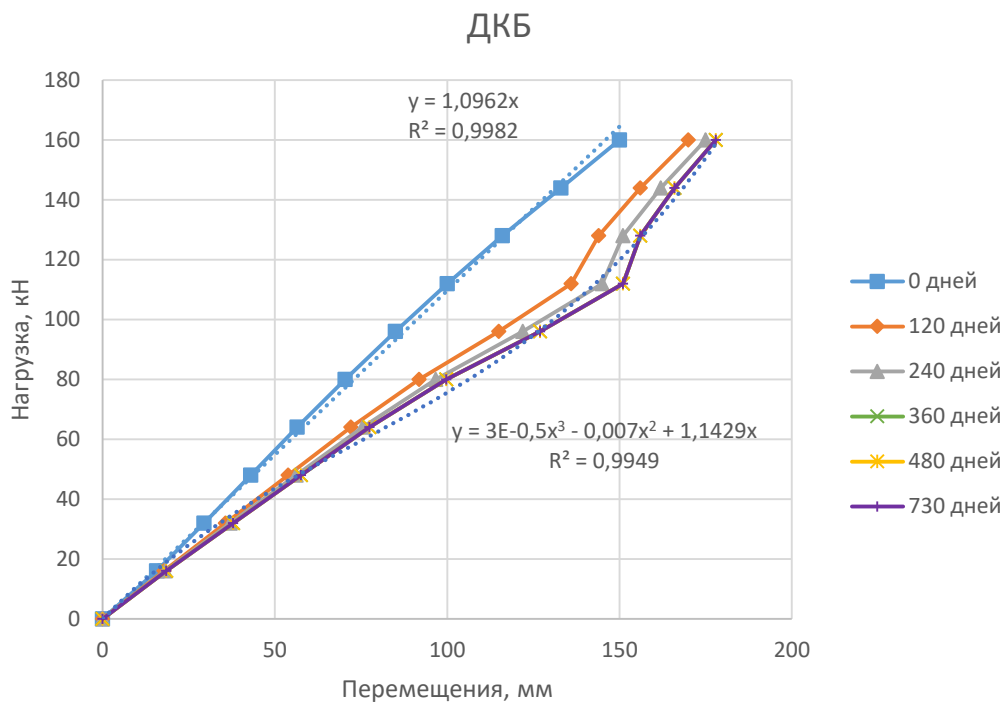


Рисунок 5.13 – Зависимость «нагрузка – перемещения» во времени (ДКБ, ДКБ<sub>y</sub><sup>1</sup>)

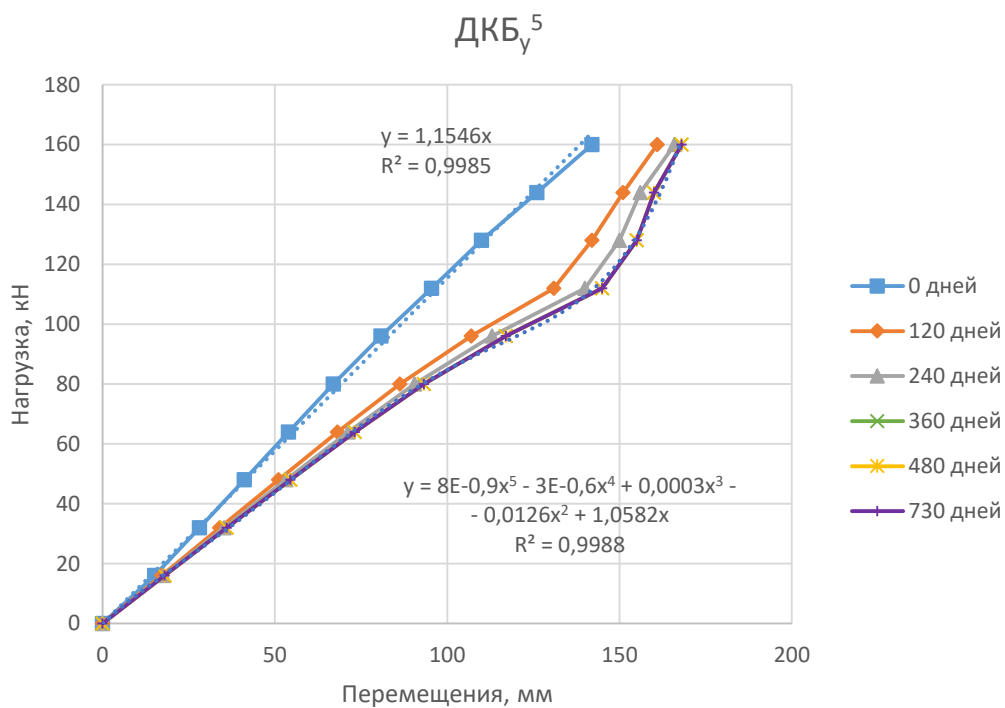
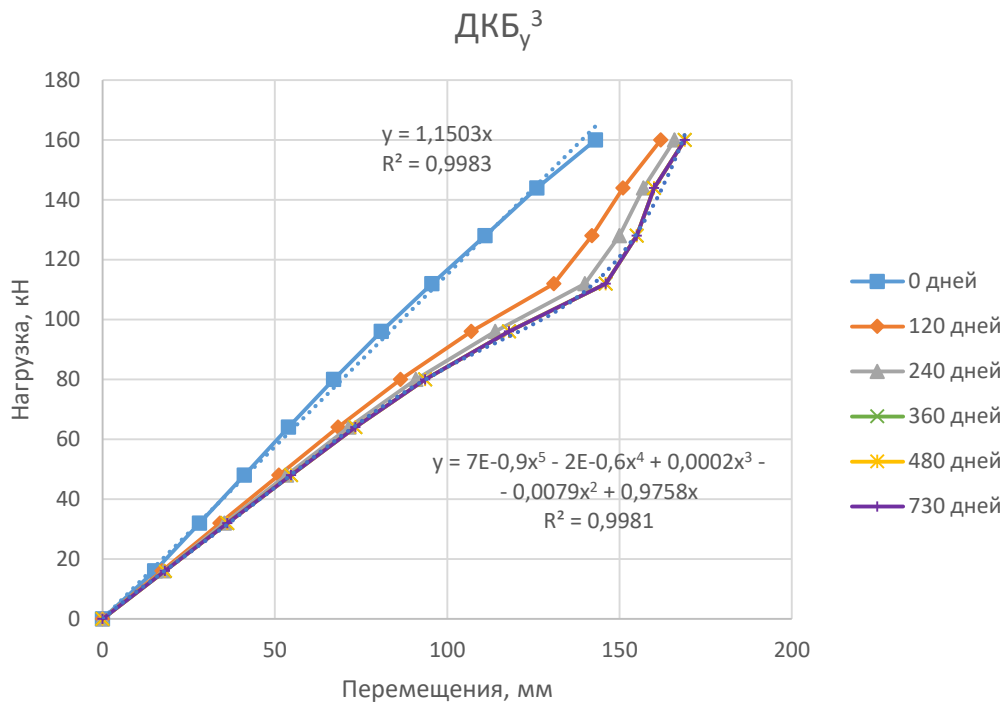


Рисунок 5.14 – Зависимость «нагрузка – перемещения» во времени ( $ДКБ_y^3$ ,  $ДКБ_y^5$ )

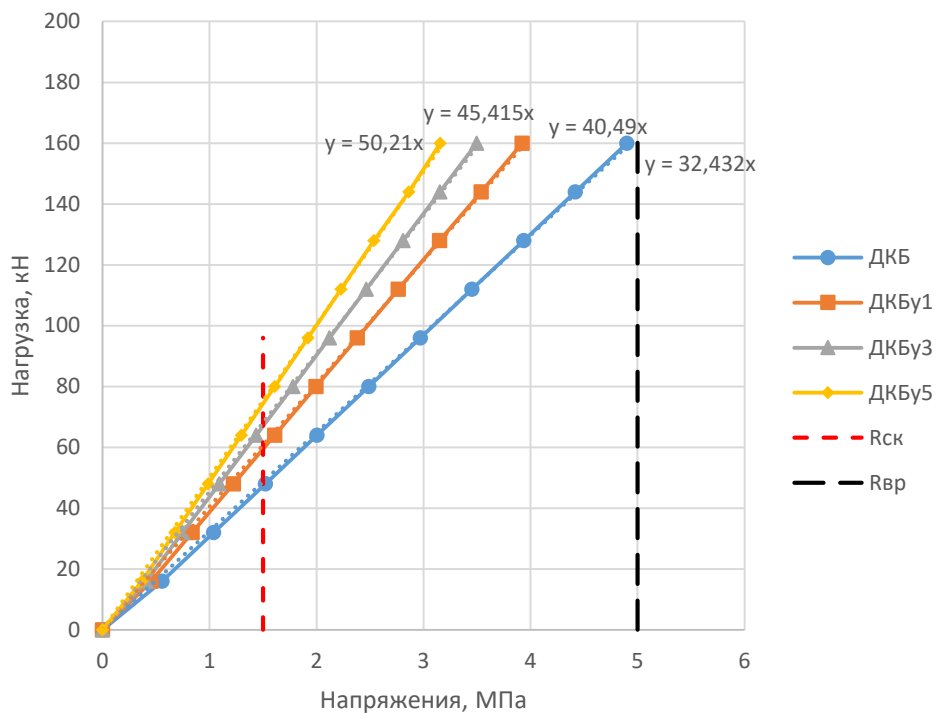


Рисунок 5.15 – Зависимость «нагрузка – касательные напряжения» для деревоклееной балки (численные исследования)

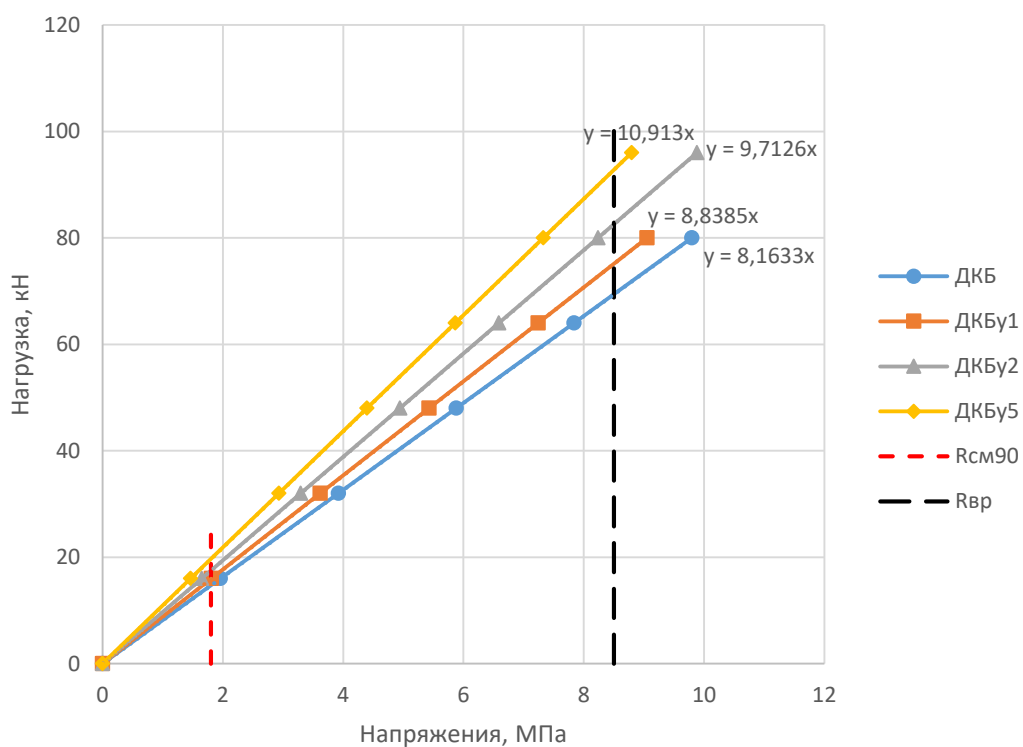


Рисунок 5.16 – Зависимость «нагрузка – сжимающие напряжения поперек волокон» для деревоклееной балки (численные исследования)

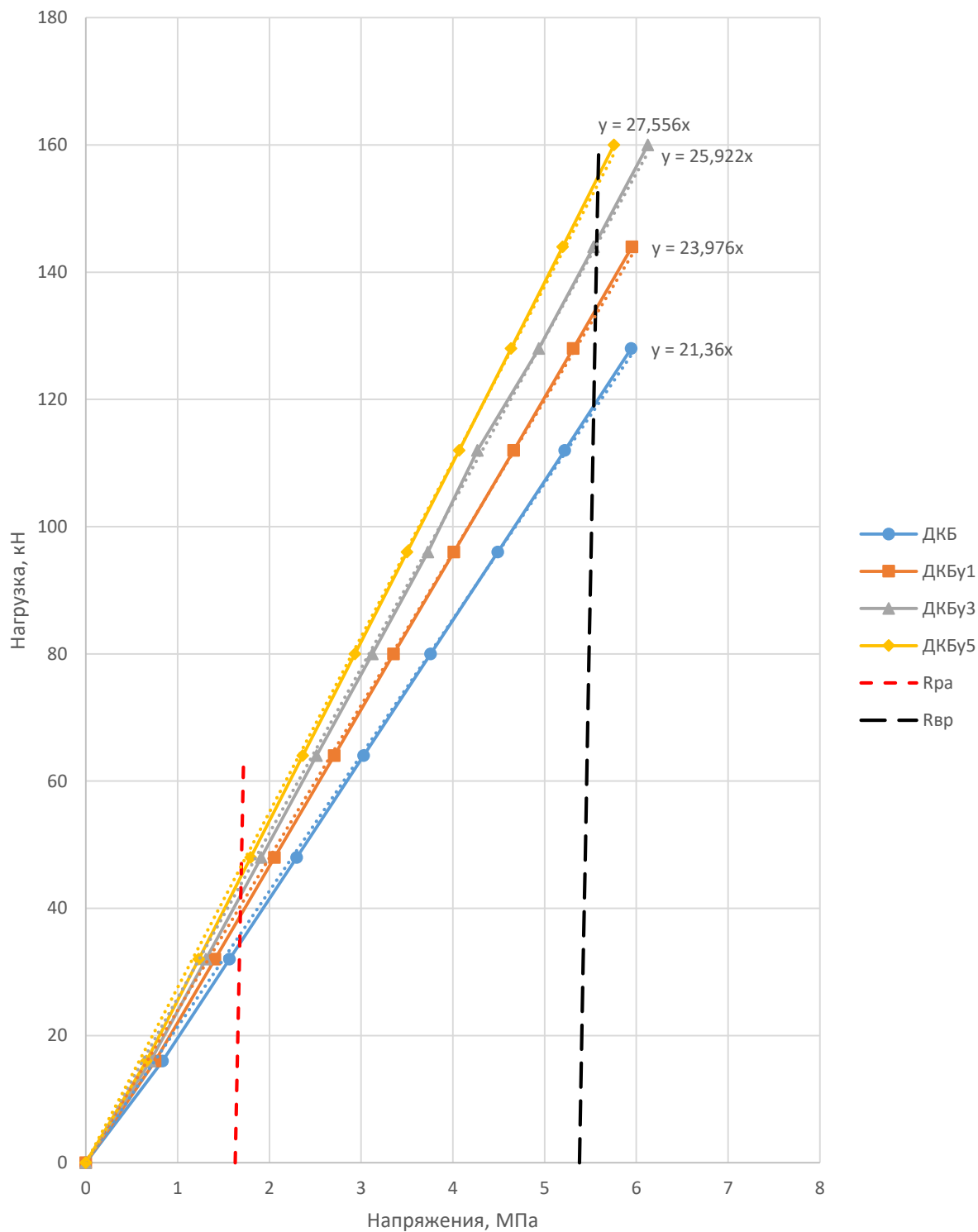


Рисунок 5.17 – Зависимость «нагрузка – растягивающие напряжения под углом к волокнам» для деревоклееной балки (угол  $\alpha \approx 24...25^\circ$ ) (численные исследования)

Результаты численного исследования отражены в выводах.

***В третьей главе приведены педагогические приемы и методики, разработанные в выпускной квалификационной работе.***

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

На лекционных занятиях могут быть раскрыты вопросы, связанные с теоретической частью ВКР. Рекомендуется отвести на это не менее одной лекции, на которой рассмотреть компоновку поперечных сечений деревянных и деревоклееных балок; опыт усиления опорных участков балок; применение продуктов nanoиндустрии в деревянных конструкциях; физические модели деревянных и деревокомпозитных конструкций.

На практических занятиях могут быть затронуты вопросы, связанные с практической частью ВКР. Рекомендуется отвести на это не менее одного практического занятия, на котором представить инженерный расчет с конкретными примерами.

В качестве самостоятельной работы (СРС) студент может рассчитать балку конкретного сечения по выданному варианту в ПК «ЛИРА 9.6» согласно 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» Е. А. Смирновым были составлены методические указания к практическим занятиям и вопросы к тестированию студентов на рейтинг-контролях.

## **6. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА**

1. Выпускная квалификационная работа оформляется в точном соответствии с данным учебным пособием и Регламентом оформления выпускных квалификационных работ по основным профессиональным программам высшего образования Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ). К защите принимаются только сброшюрованные работы, напечатанные с использованием компьютера и принтера.

2. 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 в текстовом редакторе Microsoft Word. При этом для основного текста необходимо использовать шрифт Times New Roman размером 14 пт. Количество знаков в строке – 60...70, межстрочный интервал – 18 пт (1,5 машинописных интервала), количество текстовых строк на странице – 39...40. 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 должен быть прямым, светлого начертания, четким, черного цвета, одинаковым по всему тексту ВКР. Разрешается использовать разное начертание шрифта: курсивное, полужирное, курсивное полужирное.

3. Объем выпускной квалификационной работы магистра – 80...110 страниц. Приложения при подсчете объема выпускной квалификационной работы магистра не учитываются.

4. Текст основной части выпускной квалификационной работы магистра делят на главы, подглавы, пункты и подпункты.

Заголовки структурных частей ВКР «АННОТАЦИЯ», «СОДЕРЖАНИЕ», «ПЕРЕЧЕНЬ ТЕРМИНОВ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ»,

«ВВЕДЕНИЕ», «ГЛАВЫ», «ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ» набирают прописными буквами, используя полужирный шрифт высотой 14 пт, выравнивание – по середине. Главы нумеруются арабскими цифрами без знака «№». Заголовки приложений оформляют с заглавной буквы, не выделяя полужирным шрифтом, размер шрифта – 14 пт, выравнивание – по середине.

Заголовки подглав, пунктов и подпунктов набирают строчными буквами (кроме первой прописной) с абзацного отступа полужирным шрифтом 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). Пункты нумеруют в пределах каждой подглавы. Номер пункта состоит из порядковых номеров главы, подглавы и пункта, разделенных точками, например, 1.3.2 (второй пункт третьей подглавы первой главы). Подпункты нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого пункта. Номер подпункта состоит из порядковых номеров главы, подглавы, пункта и подпункта, разделенных точками, например 4.1.3.2 (второй подпункт третьего пункта первой подглавы четвертой главы). В конце номера глав, подглав, пунктов, подпунктов, 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 курсивным шрифтом, высота шрифта – 14 пт. Выравнивание заголовка информативной части – по центру, вносить их в содержание ВКР не надо.

5. 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.

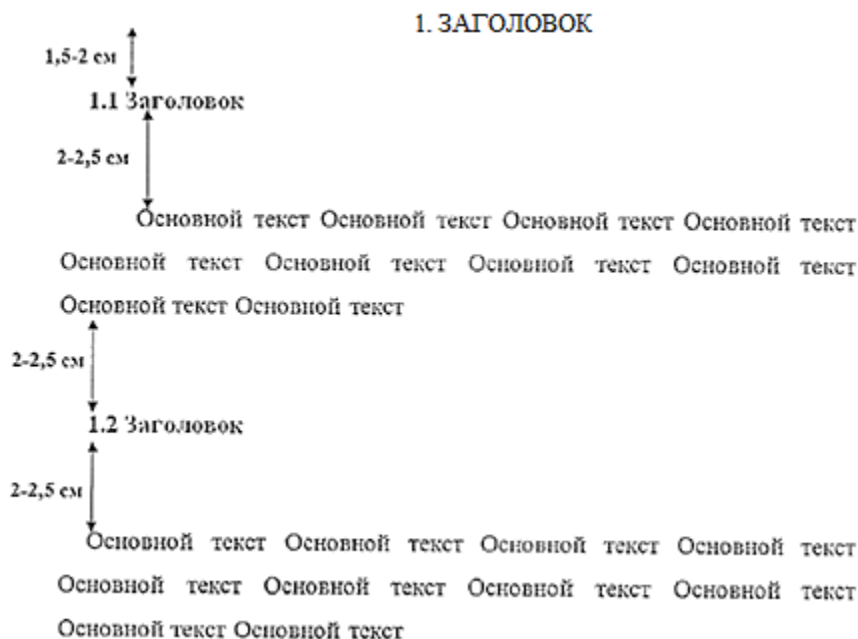


Рис. 6.1. Схематичное расположение заголовков относительно основного текста

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

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

7. Внутри глав, подглав, пунктов и подпунктов 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 ставят строчные буквы в порядке русского алфавита, начиная с буквы «а» (за исключением букв ё, з, й, о, ч, т, ь, ы, ь). Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых стоит скобка, а запись производится с абзацного отступа. Пример оформления списков представлен на рис. 6.2.

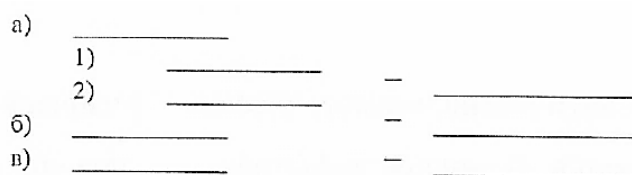


Рис. 6.2. Примеры оформления списков



8. 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 не менее одной свободной строки. Если формула не умещается в одну строку, то её можно перенести после математического знака, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «X». Символы и числовые коэффициенты, входящие в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, объясняют непосредственно под формулой с обязательным обозначением единиц измерения после запятой. Расшифровку каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой они приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Если формула не требует пояснений, то в конце нее ставят точку, если требуются пояснения, то – запятую. Высота текста пояснений – 12 пт, межстрочный интервал – 1,0.

Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложениях, имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы в круглых скобках в крайнем положении справа. 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, имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например (B.1).

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

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

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.

9. Таблицы следует располагать в ВКР непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. При ссылке следует писать слово «Таблица» с указанием ее номера. При необходимости таблицу размещают в приложении к ВКР.

Все таблицы должны иметь название и сквозную нумерацию арабскими цифрами в пределах 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 имеют отдельную нумерацию 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. Его 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 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 заголовков граф и строк, где выравнивание выполняется строго по центру.

В каждой таблице следует указывать единицы измерения. Заголовки и подзаголовки граф и строк таблицы необходимо писать с прописной буквы. В конце заголовков и подзаголовков 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 соответствующим округлением. Например, если показатели предела прочности во всех случаях имеют целое значение, кроме двух, в которых есть десятые доли, то следует у целых значений указать после запятой необходимое количество нулей.

Пример оформления таблицы в ВКР представлен ниже.

Таблица 6.1 – Основные свойства стеклотканей

Показатель	Марка исходного стекла				
	А	С	Е	S	Кварцевое
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	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 <sup>-1</sup>	8,60	7,20	5,00	5,60	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 <sup>15</sup>	–	10 <sup>17</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>21</sup>

Таблицу с большим числом строк или таблицу, строки которой не умецаются на данной странице, допускается переносить на другую страницу. При переносе части таблицы на другую страницу 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 граф и строк либо ввести строку с нумерацией каждого столбца арабской цифрой, чтобы при переносе повторить только цифры. Перенос таблицы допускается только в том случае, если на первой и последующих страницах помимо заголовков и подзаголовков располагается хотя бы одна строка таблицы.

Пример оформления в ВКР таблицы с переносом представлен ниже.

Таблица 6.1 – Основные свойства стеклотканей

Показатель	Марка исходного стекла				
	А	С	Е	S	Кварцевое
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2500	2490	2540	2480	2210

Продолжение таблицы 6.1

Показатель	Марка исходного стекла				
	А	С	Е	С	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 <sup>-1</sup>	8,60	7,20	5,00	5,60	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 <sup>15</sup>	–	10 <sup>17</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>21</sup>

При необходимости следует давать пояснения или приводить справочные данные к содержанию таблицы в виде примечаний, которые располагают непосредственно под ней. Если примечание одно, то после слова «Примечание», набранного с абзацного отступа, ставится тире и с прописной буквы излагается примечание. В случае нескольких примечаний каждое из них размещается с новой строки с абзацного отступа и нумеруется арабскими цифрами. Слово «Примечания» и содержание примечаний набирают шрифтом размером 12 пт, межстрочный интервал – 1,0.

10. 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 (исключая приложения) следует нумеровать арабскими цифрами. Нумерация сквозная. Номер проставляют после слова «Рисунок» без знака «№», например «Рисунок 1». Допускается нумеровать графический материал в пределах главы. В этом случае номер состоит из номера главы и порядкового номера графического материала, разделенных точкой, например «Рисунок 1.1».

В приложениях графический материал имеет отдельную нумерацию арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например «Рисунок В.1», если он расположен в приложении В. Название графического материала приводят сразу после номера через тире.

Графический материал располагают после текста, в котором содержится на него ссылка, или на следующей странице. В 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 графического материала должно быть не менее одной свободной строки.

В графическом материале необходимо использовать шрифт основного текста ВКР.

Пример оформления рисунка представлен ниже.

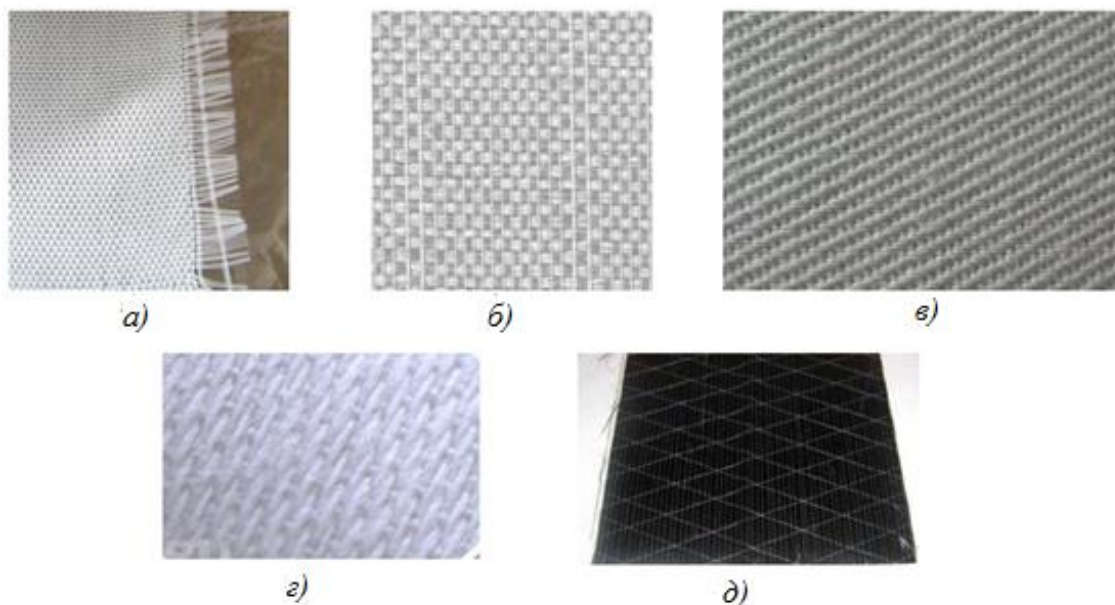


Рисунок 6.3 – Виды переплетений стеклотканей: *a* – полотняное; *б* – сеточное; *в* – саржевое; *г* – сатиновое; *д* – однонаправленное

11. Магистрант обязан давать ссылки в ВКР на использованную литературу. Такие ссылки дают возможность найти соответствующие источники и проверить достоверность цитирования, а также необходимую информацию об этом источнике (его содержание, язык, объем и др.).

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.

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

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, заимствованных из источника. Например, [14, с. 26, таблица 2] (здесь 14 – номер источника в списке использованной литературы, 26 – номер страницы, 2 – номер таблицы).

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

- 1) международные нормативные правовые акты;
- 2) Конституция РФ;
- 3) федеральные конституционные законы;
- 4) постановления Конституционного суда;
- 5) кодексы;
- 6) федеральные законы;
- 7) законы;
- 8) указы Президента РФ;
- 9) постановления Правительства РФ;
- 10) распоряжения Правительства РФ;
- 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 правовые акты;
- 17) ГОСТ;
- 18) СНиП, СП, ЕНИР, ТУ и др.;
- 19) патенты;
- 20) рекомендации;
- 21) публикации в алфавитном порядке фамилий первых авторов или названий;
- 22) интернет-источники;
- 23) иностранные публикации в алфавитном порядке фамилий первых авторов или названий.

12. Приложения располагают в конце работы в порядке появления ссылок на них в тексте ВКР. В приложениях помещают материал, дополняющий текст работы, например графический материал, таблицы, расчеты и т. д. Не допускается включать в приложения материалы, на которые отсутствуют ссылки в тексте ВКР.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы, указывая слово «Приложение», напечатанное прописными буквами. Приложение должно иметь заголовок, который размещается с новой строки по центру с прописной буквы. Высота текста – 14 пт, межстрочный интервал – 1,5.

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

13. Плакаты (прил. 11) оформляют отдельно от рукописи магистерской выпускной квалификационной работы, не подшивая их к текстовой части, и используют для наглядности выполненного исследования на защите в ГЭК. Плакаты выполняют на листах формата А1 (841×594 мм) в программе Microsoft PowerPoint или в 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 на плакаты материалы 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, ставят порядковый номер – арабскую цифру 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. Высоту текста выбирают из условий его читаемости на расстоянии 1,0...2,0 м. Межстрочный интервал назначается магистрантом, но не должен превышать 1,5. Допускается выполнение плакатов без абзацных отступов. Рисунки, таблицы и формулы оформляются 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 составе:

а) сброшюрованная рукопись в твердом переплете (с надписью «Выпускная квалификационная работа» или без надписи) красного цвета (в конце работы подшивается пустой файл А4, при необходимости количество файлов может быть увеличено до 2...3 шт.);

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 научного руководителя;

е) рецензия;

ж) электронная версия ВКР (рукопись, плакаты, скан-копии статей) на двух CD дисках. На каждый из дисков необходимо записать текстовую 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 основную папку должны быть вложены папки ЛИСТЫ, СТАТЬИ и рукопись в одном файле, имеющем название Фамилия\_И\_О (например, Иванов\_И\_И.docx, Иванов\_И\_И.pdf). В папке ЛИСТЫ должны быть отдельные файлы всех плакатов в формате 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 находиться скан-копии статей, опубликованных магистрантом, в формате pdf, имеющие названия Статья01.pdf, Статья02.pdf. Скан-копия статьи должна включать в себя титульный лист,



содержание журнала, где она опубликована, и непосредственно саму статью. Если статья размещена в электронном издании, то в скан-копии необходимо привести текст статьи, отправленный на опубликование, и сохраненную 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.

Составные части, перечисленные в пунктах *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 с использованием плакатов;  
– зачитывание отзыва научного 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 – важный этап в жизни студента, получающего высшее образование. Именно квалификация «магистр» по направлению подготовки 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 хороший задел для будущей диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

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. : Стандартинформ, 2015. 10 с.
2. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. М. : Минстрой России, 2014. 76 с.
3. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М. : М-во стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации, 2017. 102 с.
4. DIN EN 205-2016. Adhesives – Wood adhesives for non-structural applications – Determination of tensile shear strength of lap joints. German Institute for Standardization, 2016. 13 p.
5. Пат. 139443 Российская Федерация, МПК E04C3/14. Деревяно-композитная балка / Рощина С. И., Смирнов Е. А., Лукин М. В., Шохин П. Б., Лисятников М. С. ; заявитель и патентообладатель Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. № 2013136878 ; заявл. 06.08.2013 ; опубл. 19.03.2014, Бюл. № 9 (II ч.). 3 с.
6. *Алимов Л. А., Воронин В. В.* Технология производства неметаллических строительных изделий и конструкций : учебник. М. : ИНФРА-М, 2016. 448 с.
7. *Андреевский Р. А.* Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2017. 256 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, № 75. С. 60 – 64.
10. *Вдовин В. М.* Конструкции из дерева и пластмасс. Проектирование деревянных ферм : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М. : Юрайт, 2017. 154 с.
11. *Герке Л. Н., Башкиров В. Н., Князева А. В.* Древесиноведение : учеб. пособие. Казань : Изд-во КНИТУ, 2014. 104 с.

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

13. Елецкий А. В., Зицерман В. Ю., Кобзев Г. А. Нанокуглеродные материалы. Физико-химические и эксплуатационные свойства, методы синтеза, энергетические применения // Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53, № 1. С. 117 – 140.

14. 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. № 2 (54). С. 77 – 85.

15. Клеевые препреги и слоистые материалы на их основе / Л. А. Дементьева [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 2 (27). С. 19 – 21.

16. Клеевые связующие для деталей из ПКМ сотовой конструкции / Н. Ф. Лукина [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. № 5. С. 12 – 16.

17. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник / Э. В. Филимонов [и др.]. 6-е изд., перераб. и доп. М. : АСВ, 2016. 436 с.

18. Конструкции из древесины и пластмасс : учеб. пособие / Б. А. Гиясов [и др.]. М. : АСВ, 2017. 582 с.

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

20. Куцевич К. Е. Клеевые препреги и углекомпози́ты на их основе : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 26 с.

21. 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.) // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 11 – 12 (659 – 660). С. 5 – 12.

22. Лабудин Б. В., Серов Е. Н. Клеевые деревянные конструкции: состояние и проблемы развития // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 2. С. 137 – 146.

23. *Лукина А. В.* Совершенствование технологии восстановления деструктированной древесины в элементах деревянных конструкций : дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2014. 152 с.

24. *Малбиев С. А.* Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции покрытий зданий : учеб. пособие. М. : АСВ, 2017. 336 с.

25. *Мионов В. Г.* Деревянные конструкции в вопросах и ответах. Расчет элементов цельного, составного и клееного сечений : учеб. пособие. Н. Новгород : ННГАСУ, 2017. 95 с.

26. *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, Казань, 20 – 24 августа 2015 г. : сб. докл. Казань : Казан. (Приволж.) федер. ун-т, 2015. С. 2842 – 2843.

27. *Погорельцев А. А., Пятикрестовский К. П.* Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 10. С. 33 – 35.

28. Рентгенодифракционные исследования метаморфных наноструктур методом рентгеновской дифрактометрии / Г. Б. Галиев [и др.] // Кристаллография. 2014. Т. 59, № 2. С. 297.

29. *Рощина С. И., Сергеев М. С., Лукина А. В.* Армированные деревянные конструкции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 4 (334). С. 80 – 85.

30. Свойства клеевой композиции, модифицированной углеродными наноматериалами, для авиационных конструкций на основе полимерных композитов / Д. В. Гуськов [и др.] // Новые материалы : сб. материалов Второго междисциплинар. молодеж. науч. форума с международ. участием, Сочи, 1 – 4 июня 2016 г. М. : Интерконтакт Наука, 2016. С. 10 – 11.

31. *Семенов К. В., Кононова М. Ю.* Конструкции из дерева и пластмасс. Деревянные конструкции : учеб. 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. Владимир, 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. : Стройматериалы, 2013. 308 с.

35. *Тюленева Е. М.* Остаточные деформации в древесине // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 2 (101). С. 70 – 73.

36. *Уточкина Е. С., Крицин А. В.* Внешнее армирование несущих деревянных конструкций углеродной лентой // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8 – 2. С. 294 – 296.

37. Широкополосные радиопоглощающие материалы на основе пористых композитов с углеродными нанотрубками / С. В. Кондрашов [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. № 1. С. 2 – 8.

38. *Porteous J., Ross P.* Designers' Guide to Eurocode 5 : Design of Timber Buildings : EN 1995-1-1. ICE Publishing, 2013. 176 p.

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Быкова, Е. Н.* Техническая инвентаризация объектов капитального строительства : учеб. пособие / Е. Н. Быкова, В. А. Павлова. – СПб. : Лань, 2014. – 160 с. – ISBN 978-5-8114-1564-9.

2. *Гиясов, Б. И.* Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины : учеб. пособие / Б. И. Гиясов, Н. Г. Серегин. – М. : АСВ, 2014. – 88 с. – ISBN 978-5-4323-0044-7.

3. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник / Э. В. Филимонов [и др.]. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : АСВ, 2016. – 436 с. – ISBN 978-5-93093-302-2.

4. *Малбиев, С. А.* Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции покрытий зданий : учеб. пособие для строит. специальностей вузов / С. А. Малбиев. – М. : АСВ, 2017. – 336 с. – ISBN 978-5-4323-0177-2.

5. *Насонов, С. Б.* Руководство по проектированию и расчету строительных конструкций. В помощь проектировщику / С. Б. Насонов. – М. : АСВ, 2017. – 816 с. – ISBN 978-5-93093-937-8.

6. *Плевков, В. С.* Оценка технического состояния, восстановление и усиление строительных конструкций инженерных сооружений : учеб. пособие / В. С. Плевков, А. И. Мальганов, И. В. Балдин ; под ред. В. С. Плевкова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : АСВ, 2014. – 328 с. – ISBN 978-5-93093-936-1.

7. *Серов, Е. Н.* Проектирование деревянных конструкций : учеб. пособие / Е. Н. Серов. – М. : АСВ, 2015. – 536 с. – ISBN 978-5-93093-793-0.

8. *Шерешевский, И. А.* Конструирование гражданских зданий : учеб. пособие для техникумов / И. А. Шерешевский. – М. : Архитектура-С, 2016. – 176 с. – 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 / 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)



**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 плагиату



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 деревоклеевых балочных конструкций, усиленных стеклотканью
Название файла	Лисятников_M_C.docx
Процент заимствования	<b>21,76%</b>
Процент цитирования	<b>0,00%</b>
Процент оригинальности	<b>78,24%</b>
Дата проверки	<b>15:25:39 10 мая 2017г.</b>
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 "visu"; 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 г.

2. Срок сдачи студентом законченной работы 04.05.2017 г.

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

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

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

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

3. Определить опорные и силовые граничные условия

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

5. Рассчитать полученную конструкцию в ПК «ЛИРА 9.6»

6. Дать сравнительную характеристику результатов инженерного и численного расчетов

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 of 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 твердых и/или жидких тел.

**Диспергирование** (от лат. dispersio – рассеяние), эмульгирование, эмульгация (от лат. emulgeo – дою, выдаиваю) – тонкое измельчение твердых 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** – материалы, свойства которых существенно различаются в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

**УНТ** – углеродные нанотрубки.

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

**ЭД** – эпоксидно-диановая смола.



*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 которых получена равнопрочная стропильная конструкция.

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

3. Выполнены теоретические исследования деревоклееных балочных конструкций и выбрана адекватная физическая модель 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 в зависимости от количества слоев обоймы – 1, 3 и 5 – соответственно уменьшаются: касательные напряжения в опорной части усиленной балки – на 21, 33 и 41 %, напряжения сжатия поперек волокон в площадке опирания – на 8, 16 и 27 %, растягивающие напряжения под углом к волокнам – на 11, 20 и 29 %.

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

7. Установлено, что расхождение результатов инженерного расчета и численного эксперимента составляет по прочности 4...8 %, по жесткости 7...12 %.

8. Результаты исследования можно использовать 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.

*Пример списка используемой литературы*

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Градостроительный кодекс РФ : [федер. закон № 190-ФЗ : принят Гос. Думой 22 дек. 2004 г. : одобр. Советом Федерации 24 дек. 2004 г.] : по состоянию на 5 марта 2017 г. – М. : Проспект, 2017. – 320 с. – ISBN 978-5-392-24302-0.

2. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Введ. 2015-07-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 16 с.

3. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. – Введ. 2014-09-01. – М. : Минстрой России, 2014. – 56 с.

4. Деревокомпозитная балка : 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 Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – № 2013136878 ; заявл. 06.08.2013 ; опубл. 19.03.2014, Бюл. № 9 (II ч.). – 3 с.

5. *Гиясов, Б. И.* Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины : учеб. пособие / Б. И. Гиясов, Н. Г. Серегин. – М. : АСВ, 2014. – 88 с. – ISBN 978-5-4323-0044-7.

6. *Полева, Е. А.* Модификация клеевых композиций наносоединениями углерода фуллеренового ряда / Е. А. Полева, А. В. Чичварин, Л. Н. Крахт // Технические науки в России и за рубежом : материалы II Междунар. науч. конф., Москва, ноябрь 2012 г. – Магнитогорск : Буки-Веди, 2012. – С. 153 – 155. – ISBN 978-5-4465-0022-2.

7. *Сергеев, М. С.* Совершенствование технологии изготовления деревянных конструкций с термоупрочнением краевых зон : дис. ... канд. техн. наук / Сергеев Михаил Сергеевич. – Владимир, 2013. – 173 с.

8. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник / Э. В. Филимонов [и др.]. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : АСВ, 2016. – 436 с. – ISBN 978-5-93093-302-2.

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

10. Усиление несущих конструкций композитными материалами [Электронный ресурс] // Bssmol.ru: Базовые системы. – Смоленск, 2009 – 2017. – Режим доступа: [http://www.bssmol.ru/ysilenie\\_nesyshix\\_kostrykcii/](http://www.bssmol.ru/ysilenie_nesyshix_kostrykcii/) (дата обращения: 24.12.2017).

11. Improvement of wood polymer composite mechanical properties by direct fluorination / K. Charleta [et al.] // 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  
**Рощина С. И.**

Владимир, 2017

*Рис. П1. Плакат «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 проектирования деревянных и деревоклееных конструкций, в том числе усиленных полимерными и другими материалами;
- выполнить теоретические исследования деревоклееной балочной конструкции с обоснованием физической и математической моделей 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 приопорного участка балки, адекватно отражающая трансверсально-изотропные физические свойства клееной древесины и наномодифицированного материала на основе стеклоткани, эпоксицидной 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, снизить запредельные напряжения в приопорных участках балок и повысить эксплуатационную надежность конструкций.

*Рис. П2. Плакат «Основные положения исследования»*

# КЛАССИФИКАЦИЯ КЛЕЕННЫХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3

## Классификация балок

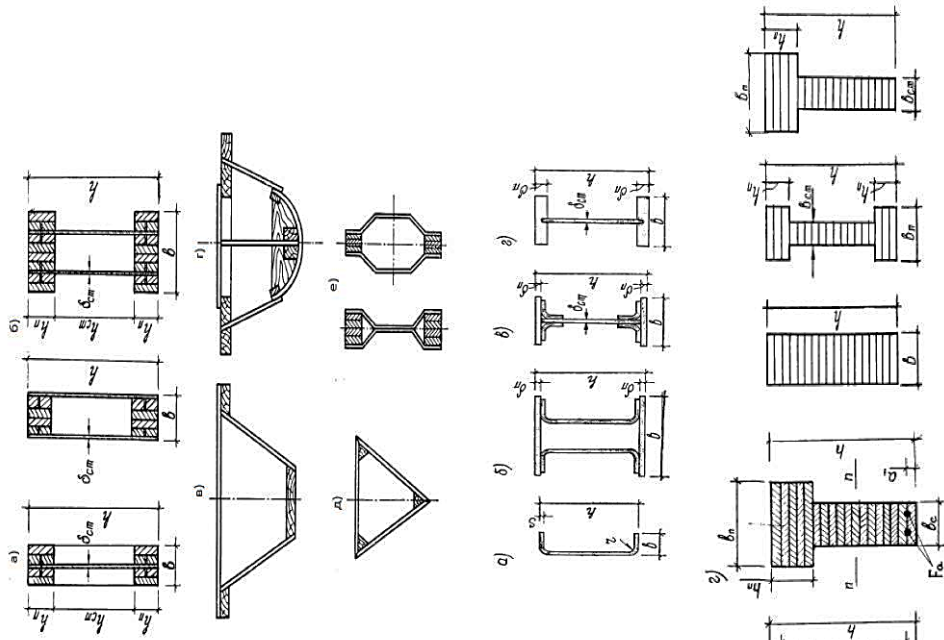
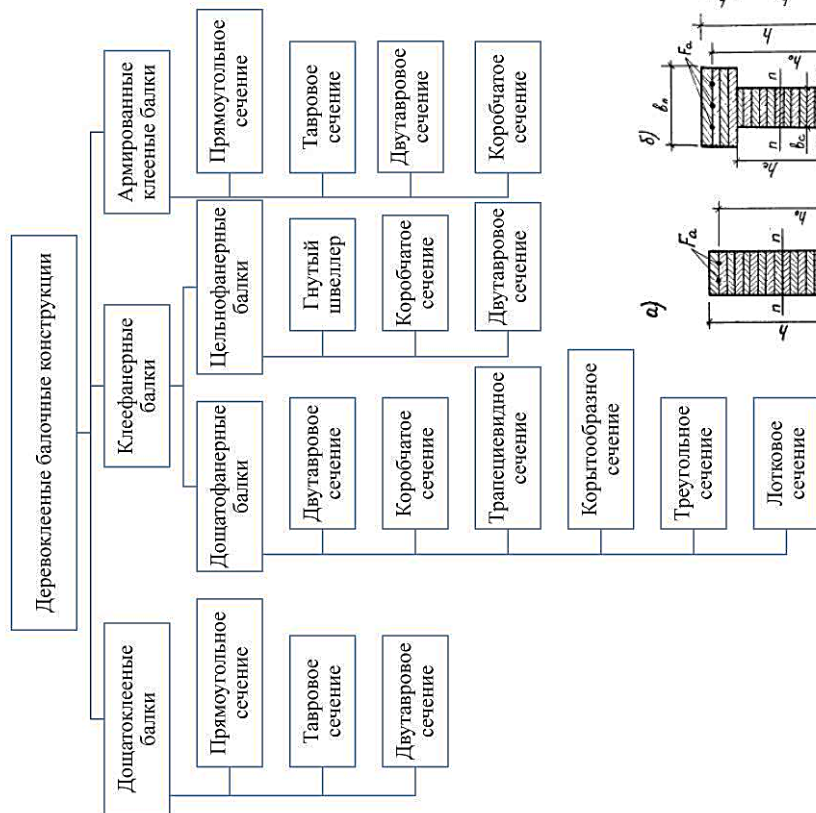


Рис. ПЗ. Плакат теоретических исследований

# ОСНОВНЫЕ ВИДЫ УСИЛЕНИЯ ОПОРНЫХ УЧАСТКОВ ДЕРЕВЯННЫХ И ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК

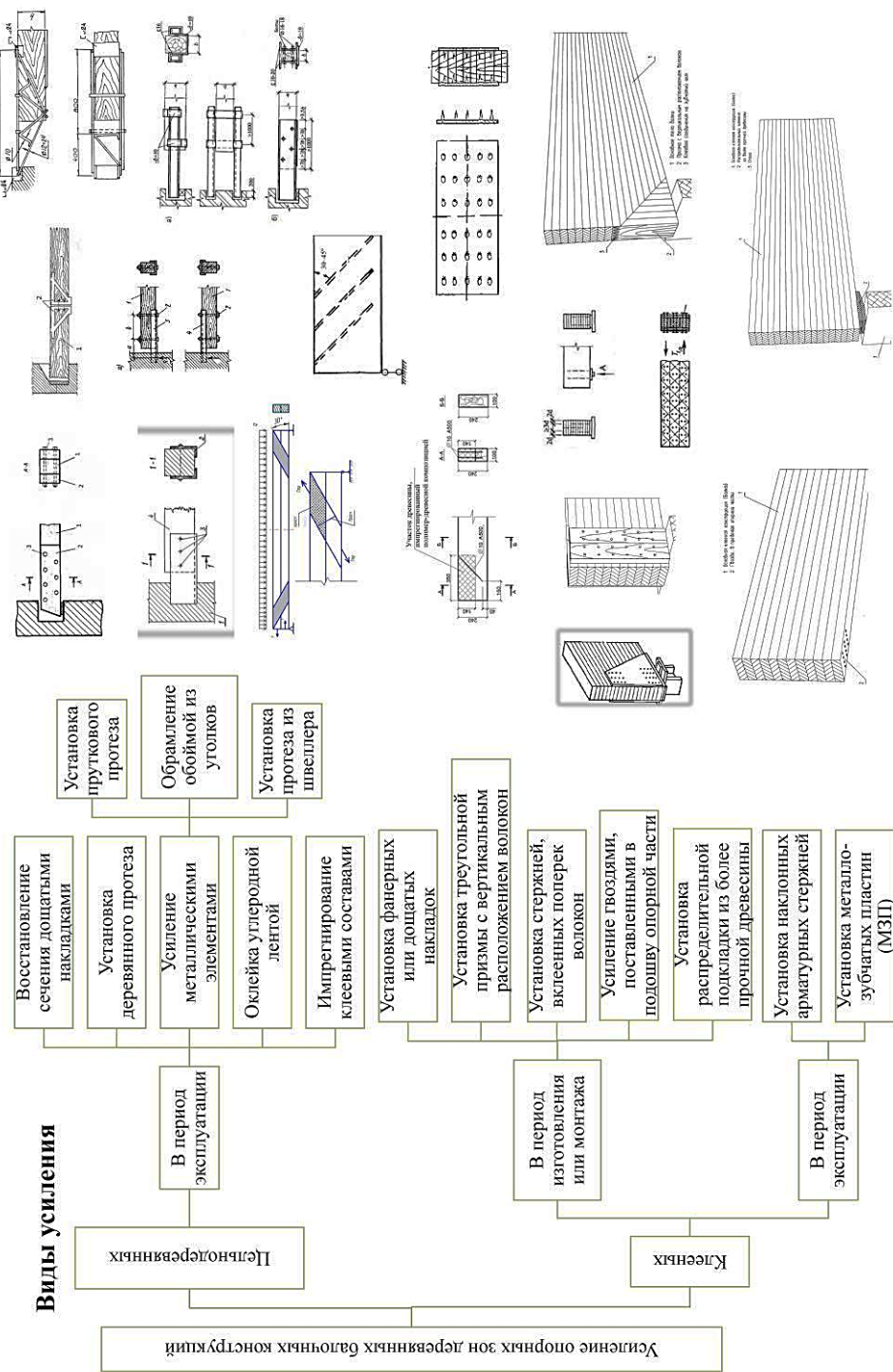
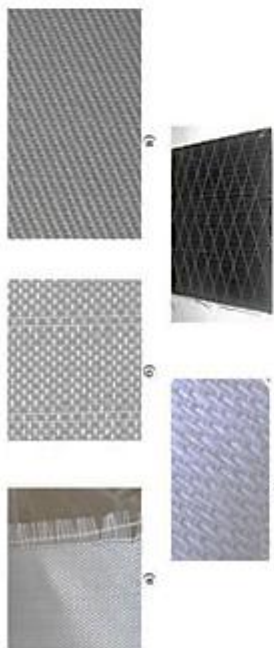


Рис. П3. Продолжение (начало см. на с. 94, окончание – на с. 96)

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОТКАНЕЙ. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ ОТРАСЛЯХ



Виды переплетения стеклотканей: а – полотняное; б – сетчатое; в – саржевое; г – диагонально-решетчатое

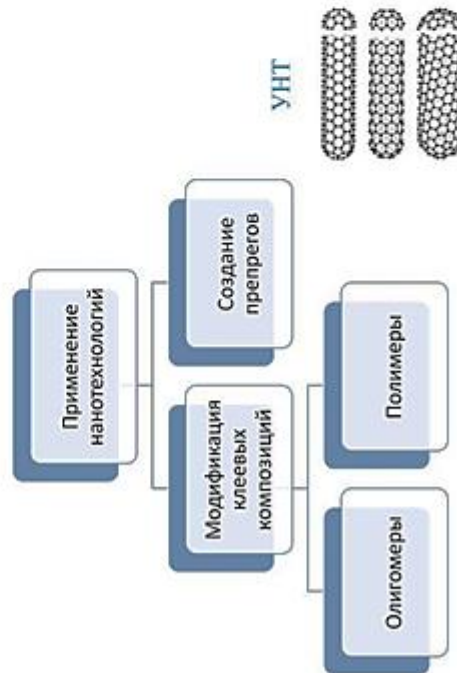
Основные прочностные свойства стеклотканей

Показатель	Марка исходного стекла			
	A	C	E	S
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	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%)
				75 (109%)

Характеристики углеродных нанотрубок (УНТ)

Материал	Характеристика		
	Модуль продольной упругости, ГПа	Предел прочности на разрыв, ГПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>
УНТ	1000,00	150,00	1,20
Сталь	210,00	3,30	7,80
Углепластик	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 протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полуферрической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена.



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

Рис. ПЗ. Окончание (начало см. на с. 94 и 95)



## 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		$n = \frac{E_{\text{стк}}}{E_{\text{др}}}$
Коэффициент армирования		$\mu = \left(1 + \frac{2x}{h}\right) \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1$ <small><math>x</math> – толщина стекланокомпозиции</small>
Площадь сечения	$A_{\text{др}} = b \cdot h$	$A_{\text{пр}} = A_{\text{др}}(1 + n\mu)$
Статический момент инерции	$S_{\text{др}} = \frac{b \cdot h^2}{8}$	$S_{\text{пр}} = S_{\text{др}} \left\{ 1 + n \left[ (\mu + 1) \left( 1 + \frac{2x}{h} \right) - 1 \right] \right\}$
Момент инерции	$I_{\text{др}} = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$S_{\text{пр}} = S_{\text{др}} \cdot (1 + n\mu)$ $I_{\text{пр}} = I_{\text{др}} \left\{ 1 + n \left[ (\mu + 1) \left( 1 + \frac{2x}{h} \right) - 1 \right] \right\}$
Момент сопротивления	$W_{\text{др}} = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$I_{\text{пр}} = I_{\text{др}}(1 + n\mu)$ $W_{\text{пр}} = W_{\text{др}} \left\{ 1 + n \left[ (\mu + 1) \left( 1 + \frac{2x}{h} \right) - 1 \right] \right\}$ $W_{\text{пр}} = W_{\text{др}}(1 + n\mu)$

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.

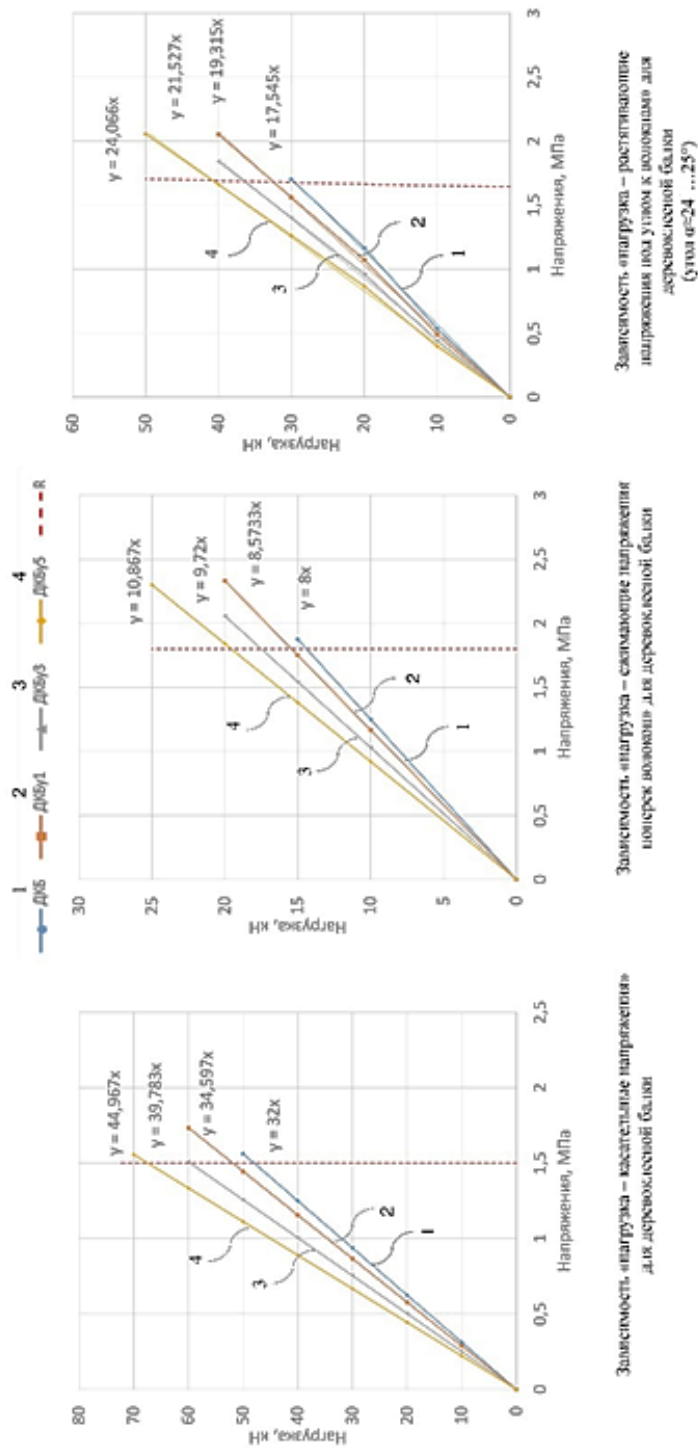
Погрешность вычисления при упрощении формул составляет 2...6%, которые идут в запас прочности при расчете усиленных балок.

Методика инженерного расчета

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

Рис. П4. Плакат «Инженерный расчет»

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК



### Обозначения балок, принятые в работе

1. ДКБ – деревоклеенная балка.
  2. ДКБ<sup>1</sup> – деревоклеенная балка с опорной зоной, усиленной клееным олитомером в один слой ( $l_{об} = 1,8 \text{ м}$ ,  $\mu = 0,95 \%$ ).
  3. ДКБ<sup>3</sup> – деревоклеенная балка с опорной зоной, усиленной клееным олитомером в три слоя ( $l_{об} = 1,8 \text{ м}$ ,  $\mu = 2,8 \%$ ).
  4. ДКБ<sup>5</sup> – деревоклеенная балка с опорной зоной, усиленной клееным олитомером в пять слоев ( $l_{об} = 1,8 \text{ м}$ ,  $\mu = 4,7 \%$ ).
- ( $l$  – длина балки, м;  $b$  – ширина балки, м;  $h$  – высота балки, м;  $l_{об}$  – длина усиливающей облоймы, м,  $\mu$  – коэффициент армирования, %).

Рис. П5. Плакат «Результаты инженерного расчета»

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

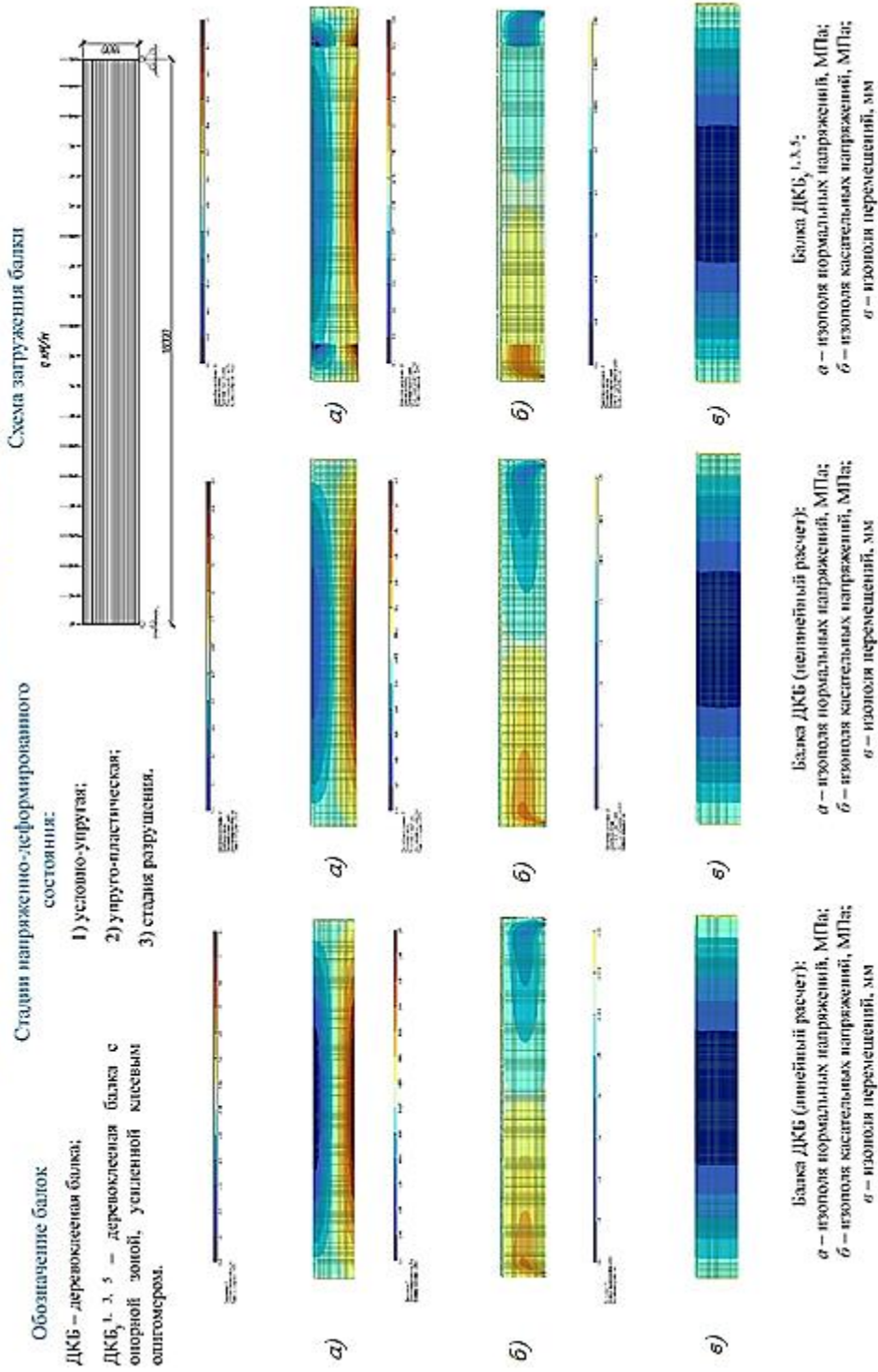
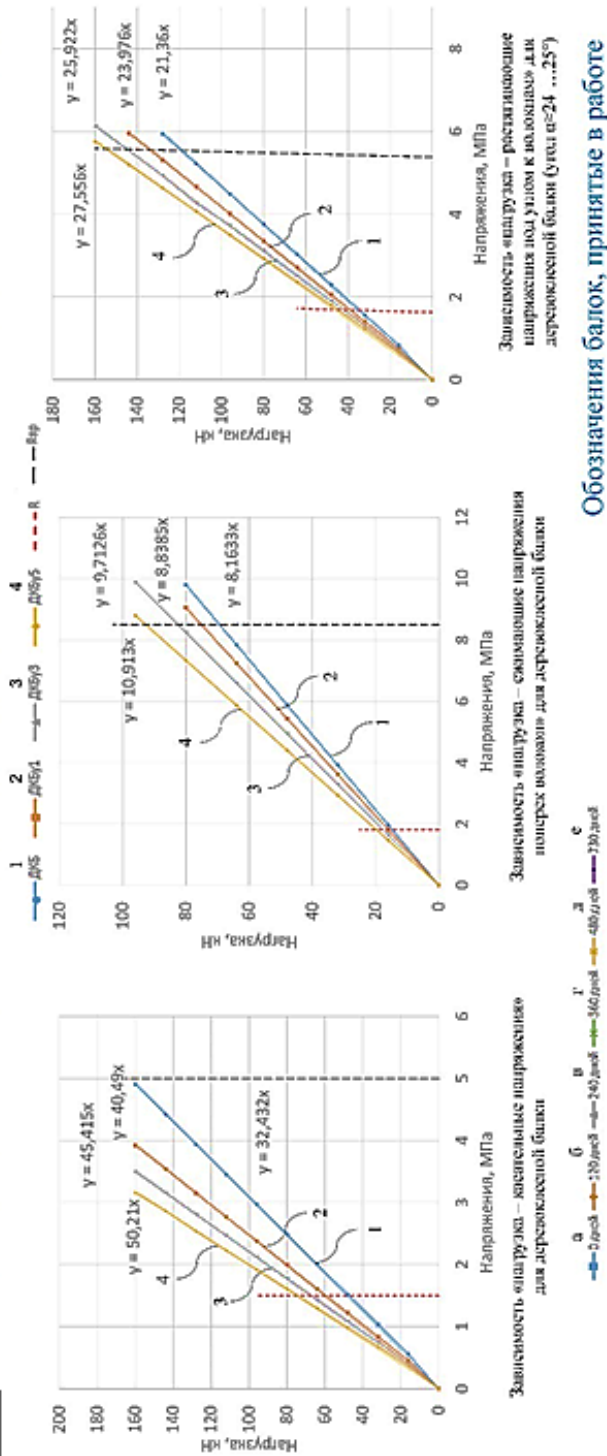


Рис. Пб. Плакат «Численный расчет»

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК



- Обозначения балок, принятые в работе**
1. ДКБ – деревоклеенная балка.
  2. ДКБу<sup>1</sup> – деревоклеенная балка с опорной зоной, усиленной клеевым олигомером в один слой ( $l_{об} = 1,8 м, \mu = 0,95 \%$ ).
  3. ДКБу<sup>3</sup> – деревоклеенная балка с опорной зоной, усиленной клеевым олигомером в три слоя ( $l_{об} = 1,8 м, \mu = 2,8 \%$ ).
  4. ДКБу<sup>5</sup> – деревоклеенная балка с опорной зоной, усиленной клеевым олигомером в пять слоев ( $l_{об} = 1,8 м, \mu = 4,7 \%$ ).
- ( $l$  – длина балки, м;  $b$  – ширина балки, м;  $h$  – высота балки, м;  $l_{об}$  – длина усиливающей обоймы, м,  $\mu$  – коэффициент армирования, %).

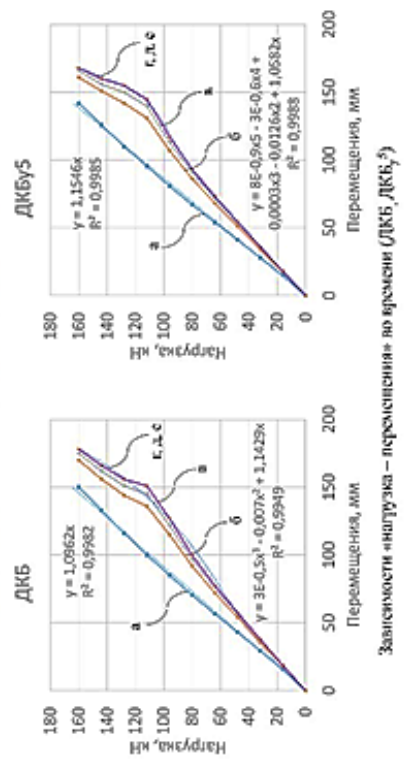


Рис. П7. Плакат «Результаты численного расчета»

## 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 которых получена равнопрочная стропильная конструкция.
2. Проведен обзор мирового опыта проектирования деревянных и деревоклееных конструкций, усиленных полимерными материалами.
3. Выполнены теоретические исследования деревоклееных балочных конструкций и выбрана адекватная физическая модель 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 увеличивается до 16, 18 и 19 % в зависимости от количества слоев обоймы (1, 3 и 5 соответственно) и стабилизируется в течение года.
7. Установлено, что расхождение результатов инженерного расчета и численного эксперимента составляет по прочности 4...8 %, по жесткости 7...12 %.
8. Результаты исследования можно использовать 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.

Рис. П8. Плакат «Выводы и рекомендации»

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ПОРЯДОК УТВЕРЖДЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	4
2. НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	4
3. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА ПОДГОТОВКОЙ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	6
4. РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	7
5. ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	8
5.1. Введение ВКР.....	10
5.2. Основная часть ВКР.....	16
6. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	62
7. ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА.....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК.....	75
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	79
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	80

*Учебное издание*

РОЩИНА Светлана Ивановна  
ПОПОВА Марина Владиславовна  
ЛИСЯТНИКОВ Михаил Сергеевич

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ  
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА НА ПРИМЕРЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ,  
УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОТКАНЬЮ

Редактор Т. В. Евстюничева  
Технический редактор А. В. Родина  
Корректор О. В. Балашова  
Компьютерная верстка Л. В. Макаровой  
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 31.05.18.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 6,05. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

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