

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права
УДК 624.07.011.17.04(043.3)

ЛАДНЫХ
Ирина Александровна

**СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ В ВИДЕ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ
УГЛЕРОДОВОЛОКОННЫХ ЛЕНТ ЗАМКНУТОГО КОНТУРА**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

Минск, 2023

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель

ЗГИРОВСКИЙ Александр Игоревич,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции имени Т. М. Пецольда» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

МИРСАЯПОВ Илизар Талгатович,
доктор технических наук, профессор кафедры «Основания, фундаменты, динамика сооружений и инженерная геология» Института строительства ФГБОУ ВО «Казанского государственного архитектурно-строительного университета» (КазГАСУ), член-корреспондент РААСН;

ВОЛИК Алла Ричардовна,
кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-строительного факультета учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купаль»

Оппонирующая организация

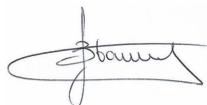
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»

Защита состоится 28 декабря 2023 года в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.09 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, главный корпус, ауд. 202; тел. ученого секретаря 8(017) 272-96-97; e-mail: bondar@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « 27 » ноября 2023 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент



В. В. Бондарь

© Ладных И. А., 2023

© Белорусский национальный
технический университет, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Древесина как строительный материал применяется с древних времен. Первоначально для строительства применяли необработанную древесину, а позднее с развитием технологий деревообработки стали использовать обработанные деревянные брусья различных размеров поперечного сечения. В начале XX века строители столкнулись с проблемой ограниченности размеров поперечного сечения деревянного элемента. Для ее решения советские ученые предложили деревянные элементы составного сечения с механическими связями в виде дубовых шпонок. Позже были предложены методы расчета и другие типы механических связей для сплочения деревянных слоев по высоте поперечного сечения с целью получения деревянного элемента составного сечения.

Но после решения данной проблемы возникла новая, связанная с ограниченностью деревянных брусьев по длине. И для ее решения были предложены клееные деревянные конструкции, которые явились развитием деревянных составных элементов на податливых связях. Только вместо уже всем привычной механической связи в виде дубовых шпонок и болтов, предложили применять клей, который обеспечивал соединение деревянных ламелей между собой без податливости. Решение проблемы позволило применять деревянные клееные конструкции в большепролетных зданиях спортивных арен, складских комплексов для хранения химически агрессивных сред и других типах зданий.

С течением времени в деревянных клееных конструкциях появляются разного рода дефекты и трещины. Начиная с конца 70-х годов, ученые начали предлагать варианты усиления деревянных клееных конструкций. Они основывались на принципах применения механических связей для сплочения расклеившихся слоев, что позволяло увеличить несущую способность и снизить деформативность. Но существенным минусом было использование стальных усиливающих элементов, которые быстро подвергались коррозии и требовали замены.

Параллельно материаловеды развивали направление композитных материалов, которые отличаются высокой стойкостью к коррозии, низким весом и высокой технологичностью. Долгие годы ученые совершенствовали композитный материал и решали вопросы, которые не позволяли ему на первых этапах конкурировать со сталью. Но сегодня уже предложены различные виды композитных материалов, которые по своим характеристикам превосходят сталь.

Поэтому одним из вызовов для ученых и специалистов в области деревянных конструкций на сегодняшний день является разработка новых методов усиления с использованием композитных материалов. Новые методы должны быть более эффективны, стойки к коррозии и менее трудозатратны, чем методы с использованием усиливающих элементов из традиционных материалов.

Для деревянных изгибаемых элементов предложены различные варианты приклеивания снаружи и вклеивания внутри деревянного элемента жестких композитных пластин, а также применение незамкнутых обоям из композитных материалов. Основоположниками данных методов усиления являются Т. Новак, Е. Ясинько, И. Гешанов, А. Ляйтен, А. Жабоклицкий, Я. Броль, П. Рапп, В. Богач, З. Лис, Т. Лодыговский, З. Мельчарек, К. Курц, К. Шробер, С. Мидзяловский, М. Малеша,

А. Акбиюк, А. Я. Ламанна, В. М. Хале, А. Я. Найчук, А. И. Згировский, А. Р. Волик, Н. В. Линьков; Д. Г. Копаница.

В исследованиях ученых доказано, что усиливающие элементы из композитных материалов существенно повышают несущую способность, снижают и останавливают развитие трещин, а также снижают деформации.

При этом отсутствуют исследования деревянных сжато-изгибаемых элементов, усиленных механическими связями в виде однонаправленных углеродоволоконных лент замкнутого контура, их влияния на несущую способность деревянного сжато-изгибаемого элемента и остановку развития трещин.

На территории Республики Беларусь первое усиление механическими связями в виде однонаправленных углеродоволоконных лент замкнутого контура реальных деревянных конструкций и их натурные испытания были выполнены А. И. Згировским, который является научным руководителем данной диссертации. Основной проблемой в широком применении является недостаточная их изученность; отсутствие инженерной методики оценки несущей способности и деформативности деревянных сжато-изгибаемых элементов с такими механическими связями, а также остановки развития трещин.

Поэтому изучение механической связи из однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура, которая может быть применена как при усилении существующих деревянных сжато-изгибаемых элементов, в том числе клееных, так и при создании новых деревянных элементов составного сечения, является актуальной задачей современной строительной науки.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.

Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденному Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10.06.2015 г. № 483 «Об утверждении перечня государственных программ научных исследований на 2016–2020 гг.».

Цель и задачи исследования. Цель исследования – разработка конструкции и методики расчета механической связи для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов по высоте поперечного составного сечения в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– выполнить расширенный анализ современного состояния механических связей для сплочения деревянных элементов по высоте поперечного сечения, а также методов повышения несущей способности, снижения деформативности и остановки развития трещин в деревянных сжато-изгибаемых элементах; определить недостатки существующих методов усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов и возможности для дальнейшего усовершенствования и развития;

– по результатам проведенного анализа предложить новый метод усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов с использованием композитных материалов;

– сформулировать определение механической связи, выполненной из однонаправленной углеродволоконной ленты в виде замкнутого контура, на основе существующих терминов и понятий;

– разработать модель экспериментально-численного исследования механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура с учетом коэффициента армирования для определения коэффициента жесткости, механических характеристик, характера работы и механизма разрушения;

– подтвердить экспериментально и численно, что деревянный сжато-изгибаемый элемент с механической связью в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура работает как составной элемент на податливых связях путем сопоставления результатов натурных и численных исследований;

– определить численные значения коэффициентов податливости для механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура для деревянных сжато-изгибаемых элементов;

– уточнить методику расчета для деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения с механическими связями в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура для повышения несущей способности, снижения деформативности и остановки развития трещин для деревянных сжато-изгибаемых элементов при усилении;

– подтвердить технико-экономическую эффективность применения механических связей в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура при повышении несущей способности, снижении деформативности.

Объект исследования – механическая связь в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура для сплочения деревянного сжато-изгибаемого элемента по высоте поперечного сечения.

Предмет исследования – механические свойства механической связи; несущая способность и деформативность деревянных сжато-изгибаемых элементов с использованием механических связей и коэффициенты податливости для расчета деревянных сжатоизгибаемых элементов составного сечения с механическими связями.

Научная новизна – заключается в том, что

– предложен новый вид механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов по высоте поперечного сечения, которые могут быть использованы при создании новых деревянных элементов составного сечения и усиления существующих деревянных сжато-изгибаемых элементов, в том числе и клееных;

– на основе экспериментальных данных установлен характер работы и механизм разрушения, численные значения коэффициента жесткости механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура; зависимость между коэффициентом жесткости и коэффициентом армирования для механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура;

– на основе экспериментальных данных подтверждена работа деревянного сжато-изгибаемого элемента с механическими связями в виде однонаправленной угле-

родволоконной ленты замкнутого контура, как составного стержня на податливых связях, и экспериментально установлен коэффициентом жесткости;

– на основе экспериментальных и численных данных впервые определены численные значения коэффициентов податливости k_w и k_i для определения несущей способности и деформативности деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения с механическими связями в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура по инженерной методике, которая основана на технических нормативно-правовых актах в области проектирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Новый тип механической связи для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов по высоте поперечного сечения в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура.

2. Экспериментально обоснованный характер работы и механизм разрушения механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура, а также экспериментально установленные механические характеристики данного типа механической связи.

3. Экспериментальное подтверждение работы деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения, сплоченных по высоте поперечного сечения с помощью механических связей в виде однонаправленных углеродволоконных лент замкнутого контура, как элементов составного сечения на податливых связях и экспериментальные значения коэффициентов жесткости для механических связей.

4. Экспериментально обоснованные численные значения коэффициентов податливости k_w и k_i для механических связей в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения по высоте поперечного сечения, которые получены впервые и позволяют оценить несущую способность и деформативность деревянного сжато-изгибаемого элемента с указанными механическими связями, с использованием инженерных методов расчета, изложенных в нормативных документах.

Личный вклад соискателя. Автором совместно с научным руководителем осуществлен выбор темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования и проанализированы полученные результаты. Автором самостоятельно выполнен анализ литературы, определены состояние проблемы и круг нерешенных вопросов, лично выполнен патентный поиск, получены самостоятельно основные результаты, приведенные в диссертационной работе. Самостоятельно изготовлены образцы и проведены экспериментальные исследования по теме диссертации. Статистический анализ и написание глав диссертации осуществлены автором самостоятельно. Интерпретация полученных результатов, формулировка положений, выносимых на защиту, выводов глав и практических рекомендаций сделаны соискателем под руководством научного руководителя. Основные научные результаты, представленные в диссертации, получены автором лично и изложены в соответствующих статьях.

Апробация результатов диссертации.

Основные результаты исследований доложены и обсуждены: на I Международной научно-технической конференции «Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР)», г. Брест, 30–31 марта 2017 г.; на Международной научно-

практической конференции «Новые материалы, технологии и оборудование в промышленности», г. Могилев, 26–27 октября 2017 г. Награждена грамотой за лучший доклад в рамках конференции; на VIII Международной научно-практической конференции, посвященной году науки «Проблемы безопасности на транспорте», г. Гомель, 23–24 ноября 2017 г.; на II Международной научно-технической конференции «Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР)», г. Брест, 29–30 марта 2018 г.; на 71-й Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы современного строительства», Санкт-Петербург, 4–6 апреля 2018 г.; на XVIII Международной межвузовской научно-практической конференции «Строительство – формирование среды жизнедеятельности», г. Москва, 22–24 апреля 2018 г. Награждена дипломом II степени в рамках конкурса работ молодых ученых; на II Международном научно-методическом семинаре «Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров», г. Брест, 25–26 октября 2018 г.; III Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации», г. Новополоцк, 29 апреля 2021 г.; на XXII Международном научно-методическом семинаре «Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров», г. Брест, 29–30 сентября 2022 г.; на международной конференции «Проблемы современного строительства – 2023», г. Минск, 23 мая 2023 г.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практику проектирования ООО «ПГП» и учебный процесс в БНТУ, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, из них: 4 статьи (4,2 авторских листа) в научных рецензируемых журналах ВАК и сборниках научных трудов, соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь; 6 статей (1,8 авторских листа) в сборниках материалов конференций и семинаров.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертационной работы 132 стр., который включает 60 рисунков и 18 таблиц; приложения на 7 стр. Список литературы включает 145 наименований белорусских, российских и зарубежных авторов, из которых 10 – авторские работы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе представлен краткий исторический очерк развития составных деревянных элементов на механических связях, описаны современные направления применения механических связей, в том числе и для усиления деревянных конструкций. Проанализированы работы ведущих ученых Т. Новака, Е. Ясинько, И. Гешанова, А. Ляйтен, А. Жабоклицкого, Я. Броля, П. Раппа, В. Богача, З. Лиса, Т. Лодыговского, З. Мельчарка, К. Курц, К. Шробера, С. Мидзяловского, М. Малеш, А. Акбиук, А. Я. Ламанна, В. М. Хале, А. Я. Найчука, А. И. Згировского, А. Р. Волик, Н. В. Линькова; Д. Г. Копаницы в области существующих методов

усиления деревянных элементов с использованием как классических, так и композитных материалов. Анализ научной литературы и исследований показал, что для деревянных сжато-изгибаемых элементов не представлены методы усиления с использованием механических связей на основе однонаправленных углеродоволоконных лент, поэтому была предложена механическая связь в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура, которую можно использовать для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения при усилении и новом строительстве. Представлен анализ существующих методов расчета деревянных элементов составного сечения с механическими связями, изложенные в технических нормативно правовых актах. На основе анализа современного состояния вопроса были сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена исследованию механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура: механических характеристик, коэффициента жесткости, характера работы и механизма разрушения. Также представлены исследования напряженно-деформированного состояния деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения с использованием механических связей для подтверждения характера работы, как составного деревянного элемента на податливых связях. Дано определение: механическая связь в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура – механическая связь, выполненная из однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура и служащая для скрепления деревянных деталей/слоев/ламель по высоте поперечного сечения для образования деревянного сжато-изгибаемого составного элемента.

Для достижения цели диссертационного исследования была предложена модель и алгоритм исследования, которые состояли из двух основных шагов:

- на первом шаге проводились исследования непосредственно механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура для получения данных о механических характеристиках; характере работы; механизме разрушения и коэффициентах жесткости (алгоритм исследования представлен на рисунке 1);

- на втором шаге проводились исследования деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения сплоченных по высоте поперечного сечения с использованием механических связей в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура. Во время проведения исследования необходимо было подтвердить, что деревянный сжато-изгибаемый элемент составного сечения с механическими связями в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура работает как составной элемент на податливых связях; подтвердить численное значение коэффициент жесткости, характер работы и механизм разрушения механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура, полученного на шаге 1; определить численные значения коэффициентов податливости k_w и k_i (алгоритм исследования представлен на рисунке 1).

Была разработана конструкция механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура (рисунок 2).

АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРВОГО ШАГА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В ВИДЕ ЗАМКНУТОГО КОНТУРА ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ УГЛЕРОВОЛОКНОЙ ЛЕНТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ:

- ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ;
- ХАРАКТЕРА РАБОТЫ ОБОЙМЫ;
- ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ОБОЙМЫ.



ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В ВИДЕ ЗАМКНУТОГО КОНТУРА ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ УГЛЕРОВОЛОКНОЙ ЛЕНТЫ СОГЛАСНО ВЫБРАННОЙ МЕТОДИКИ.



ДОПОЛНИТЕЛЬНО (ПАРАЛЛЕЛЬНО) ПРОВОДИМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

- ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЯ;
- ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ УГЛЕРОВОЛОКНОЙ ЛЕНТЫ;
- ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ УГЛЕРОВОЛОКНОЙ ЛЕНТЫ С ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЕЙ СОВМЕСТНО.



ПОСТРОЕНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ.



РЕГИСТРАЦИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ УТОЧНЕНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ

ДА
→
НЕТ

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО СЛЕДУЮЩИМ ПАРАМЕТРАМ:

- ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ;
- ХАРАКТЕРА РАБОТЫ ОБОЙМЫ;
- ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ОБОЙМЫ.

АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ ВТОРОГО ШАГА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВЯННОГО СЖАТО-ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ В ВИДЕ ЗАМКНУТОГО КОНТУРА ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ УГЛЕРОВОЛОКНОЙ ЛЕНТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ:

- ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ХАРАКТЕРА РАБОТЫ ДЕРЕВЯННОГО СЖАТО-ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ КАК СОСТАВНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ПОДАТЛЫХ СВЯЗЯХ;
- ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ, ПОЛУЧЕННОГО НА ПРЕДЫДУЩЕМ ШАГЕ;
- ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В КОНСТРУКЦИИ И СООТВЕТСТВИЕ РАЗРУШЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОЕ НА ПРЕДЫДУЩЕМ ШАГЕ;
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ДЕРЕВЯННОГО СЖАТО-ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ.



ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ГИПОТЕЗЫ.



СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ. СХОДИМОСТЬ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДО 15% И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ



ДА
→
НЕТ

РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕКОМЕНДАЦИЙ (ГЛАВА 3) ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ПОВТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.

Рисунок 1 – Алгоритм исследования

Первоначально была разработана конструкция механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура (рисунок 2).

Сформулирован термин **«коэффициент армирования для механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура»**, под которым следует понимать соотношение длины фактически приклеенной ленты вдоль шва сплачивания к длине среза, правила измерения которых указаны на рисунке 3, а расчет в представлен формулой (1):

$$k_{\text{арм}} = L_{\text{ленты}} / L_{\text{среза}} \quad (1)$$

где $k_{\text{арм}}$ – коэффициент армирования (безразмерный); $L_{\text{ленты}}$ – длина ленты вдоль шва сплачивания (рисунок 3), мм; $L_{\text{среза}}$ – длина шва сплачивания, на котором лента воспринимает усилия сдвига, мм).

Термин **«коэффициент армирования для механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура»** использовался для того, чтобы возможно было установить влияние длины ленты к длине среза на несущую способность механической связи в виде замкнутого контура.

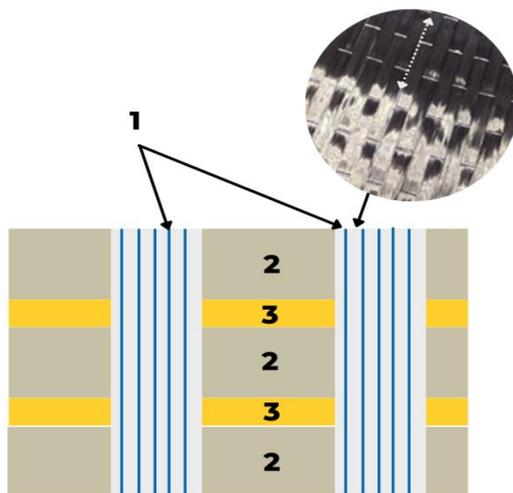


Рисунок 2 – Общий вид деревянного элемента с механическими связями в виде однонаправленных углеродоволоконных замкнутого контура: 1 – механическая связь в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура (линиями обозначены нити основы); 2 – деревянная деталь, входящая в состав деревянного элемента составного сечения; 3 – сквозная трещина или шов сплачивания)

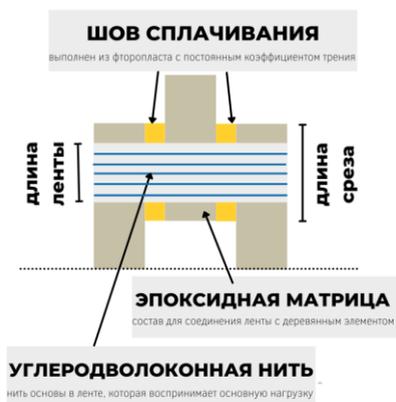


Рисунок 3 – Конструкция двухсрезного образца с механической связью в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты в виде замкнутого контура с указанием длин для определения коэффициента армирования

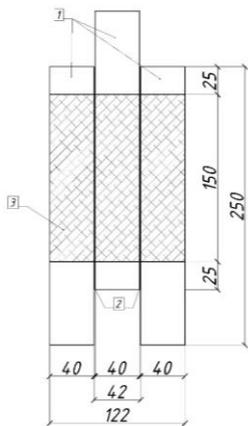
Для получения данных о характере работы, механических характеристиках и установления коэффициента жесткости и механизма разрушения механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура были выбраны двухсрезные образцы согласно разработанному ранее алгоритму. Для проведения исследования были изготовлены четыре типа образцов, которые представлены на рисунке 4.

В образцах типа 1, 2, 3 принят одинаковый коэффициент армирования, но при этом варьируется шаг ленты, а в образце типа 4 коэффициент армирования в 2 раза меньше коэффициента армирования для образцов типа 1–3.

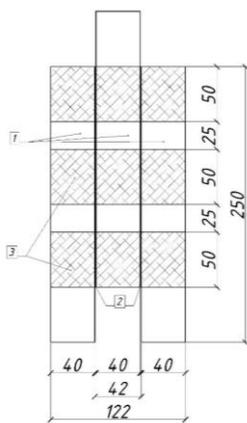
В образцах тип 1 и тип 2 измерены напряжения, возникающие в механической связи с применением тензометрических датчиков с базой 20 мм, по показаниям которых определялись полные относительные деформации ϵ_n , которые измеряются в относительных безразмерных единицах. Полученные значения в дальнейшем использовались для сравнения и оценки фактической работы механической связи в виде замкнутого контура с построенной численной моделью механической связи. Образцы нагружали сжимающей нагрузкой по оси образцов в автоматическом режиме ступенями по 1 кН с постоянной скоростью.

В результате проведенных исследований для всех серий образцов тип 1, тип 2, тип 3, тип 4 были получены следующие данные: значение максимальной разрушающей нагрузки для механической связи в виде замкнутого контура F_{max} ; значение максимальных деформаций взаимного смещения среднего бруса двухсрезного образца относительно крайних брусьев для механической связи в виде замкнутого контура (D_{nmax}) при достижении максимальной разрушающей нагрузки; график зависимости между приложенной нагрузкой (F) и величиной деформаций взаимного смещения среднего бруса относительно крайних брусьев (D) (рисунок 5, таблица 1).

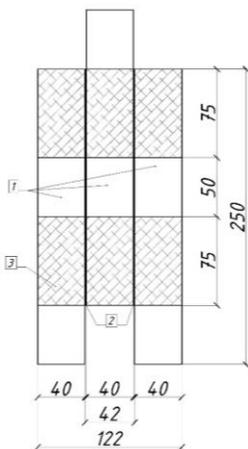
а)



б)



в)



г)

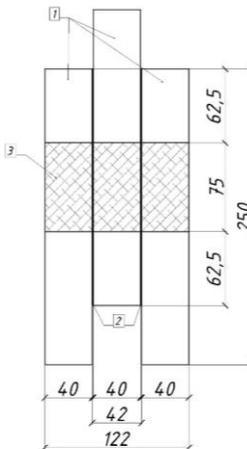


Рисунок 4 – Двухсрезовый образец с механической связью в виде однонаправленной углеродволоконной лентой замкнутого контура для сравнительных испытаний: 1 – соединяемые деревянные элементы; 2 – фторопластовая пластина $t = 1$ мм; 3 – УВ-обойма в 1 слой; а – тип 1, б – тип 2, в – тип 3, г – тип 4

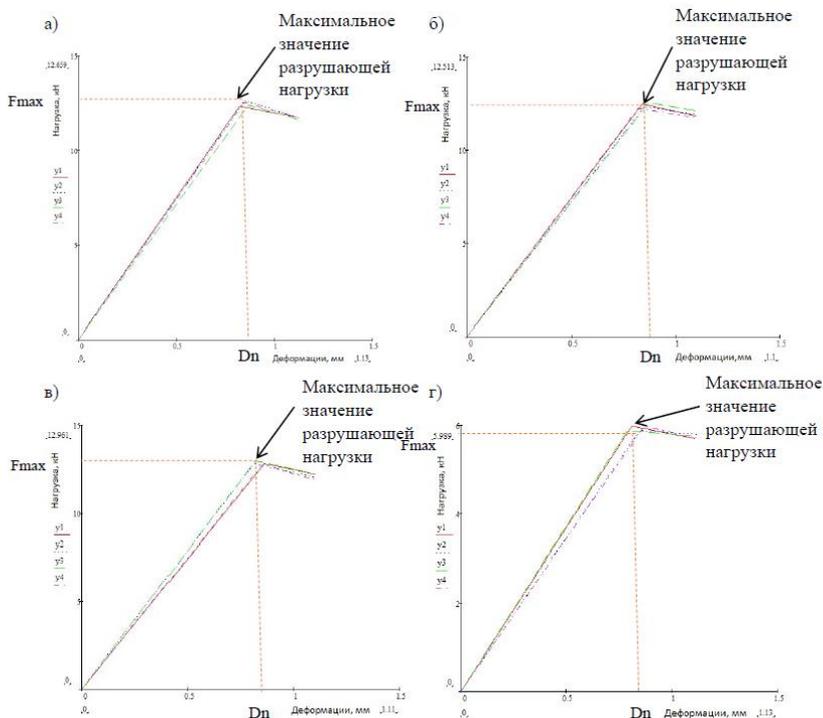
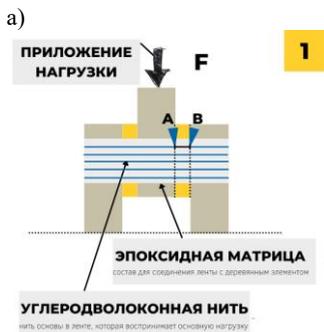


Рисунок 5 – Результаты испытаний механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура. Графики зависимости полных средних деформаций от прилагаемой нагрузки для каждого типа двухсрезного образца: *а* – тип 1; *б* – тип 2; *в* – тип 3; *г* – тип 4

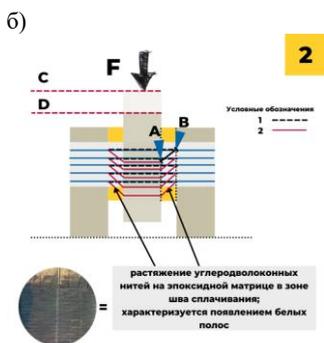
В результате проведенных исследований были получены следующие выводы о работе механической связи в виде замкнутого контура: все испытанные двухсрезные образцы, соединенные с использованием механической связи в виде замкнутого контура типа 1–4, по характеру работы относятся к соединениям первой группы – с линейной зависимостью нагрузки от разности полных деформаций взаимного смещения среднего бруса двухсрезного образца относительно крайних брусев в пределах упругой работы соединения.

Механизм разрушения двухсрезных образцов, соединенных с использованием механической связи в виде замкнутого контура, представлен на рисунке 6.

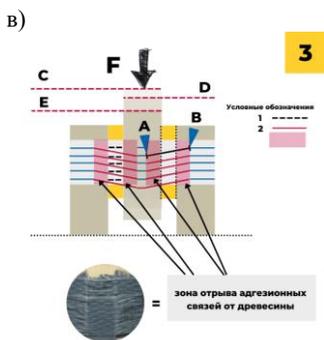
Установлены основные характеристики соединения: сопротивление сдвигу по площади среза и погонное на основе рекомендаций для соединения деревянных конструкций; коэффициент жесткости на два шва сплачивания (коэффициент связей сдвига на два шва), что приведено в таблице 1.



Этап 1 – до приложения нагрузки
 $A-B=L$



Этап 2 – приложение нагрузки
Точка C – начальное положение среднего бруса до проведения испытаний;
Точка D – смещение бруса в процессе приложения нагрузки.
 $A-B=L_1$



Этап 3 – разрушение образца
Точка C – начальное положение среднего бруса до проведения испытаний;
Точка D – смещение бруса в процессе приложения нагрузки;
Точка E – итоговое положение среднего бруса после приложения разрушающей нагрузки.

Рисунок 7 – Механизм разрушения механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура: a – этап до приложения нагрузки; b – этап приложения нагрузки; $в$ – этап после приложения разрушающей нагрузки

Таблица 1 – Несущая способность и деформативность по результатам испытаний образцов соединения с использованием механической связи в виде замкнутого контура

Тип образца	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
F_{\max} , Н	12491	12383	12822	5938
$R_{\text{ср.с}}$, Н	5430	5490	5490	2520
Деформация образцов D_n , м	$0,85 \cdot 10^{-3}$	$0,85 \cdot 10^{-3}$	$0,84 \cdot 10^{-3}$	$0,85 \cdot 10^{-3}$
Сопrotивление соединения сдвигу по площади среза «УВ-обоймы», Па	$9,05 \cdot 10^6$	$9,15 \cdot 10^6$	$9,15 \cdot 10^6$	$4,20 \cdot 10^6$
Сопrotивление соединения сдвигу погонное, Н/мм	$9,05 \cdot 10^6$	$9,15 \cdot 10^6$	$9,15 \cdot 10^6$	$4,20 \cdot 10^6$
Коэффициент связей сдвига (на 2 шва сплачивания) ϵ , Н/м	0,073	0,073	0,076	0,035
Коэффициент армирования, $k_{\text{арм}}$	0,75	0,75	0,75	0,375

На основании данных из таблицы 1 была построена зависимость между коэффициентом армирования и коэффициентом жесткости ϵ и выражена формулой (2) для двух швов сплачивания.

$$k_{\text{арм}} = 10,27\epsilon \quad (2)$$

Анализ напряжений, возникающих в механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура, произведен методом сравнения данных, полученных по результатам натурных исследований соединения, и численных исследований, проведенных в программном комплексе. В результате было доказано, что численная модель механической связи, построенная в программном комплексе, эквивалентна экспериментальной натурной модели механической связи, следовательно, данные о физико-механических характеристиках и граничные условия могут быть использованы при дальнейшем моделировании деревянных сжато-изгибаемых элементах составного сечения с механической связью в виде замкнутого контура.

Следующим шагом было доказательство того, что деревянный сжато-изгибаемый элемент с механической связью в виде однонаправленной углеродоволоконной лентой замкнутого контура работает как составной стержень на податливых связях, и подтверждение корректности определенного ранее коэффициента жесткости на образцах натурных размеров. Для этого были разработаны три типа конструкций, которые необходимы для подтверждения работы деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения с механическими связями в виде замкнутого контура как составного стержня на податливых связях, и подтверждение корректности определенного ранее коэффициента жесткости.

Исходные данные для проведения исследований деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения с механическими связями в виде замкнутого контура представлены в таблице 2 и на рисунке 8 – условия закрепления деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения с механической связью в виде замкнутого контура.

Таблица 2 – Исходные данные для проведения экспериментальных исследований на деревянных сжато-изгибаемых элементах составного сечения

Наименование конструкции	Количество лент	Ширина ленты, м	$k_{арм}$	$\varepsilon = G, Н/М^2$	Общая длина элемента, м	Расстояние между лентами (шаг), м
«конструкция-1»	5 лент	0,150	0,27	$0,013 \cdot 10^9$	3	0,513
«конструкция-2»	6 лент	0,150	0,32	$0,015 \cdot 10^9$		0,380
«конструкция-3»	12 лент	0,750	0,32	$0,015 \cdot 10^9$		0,173

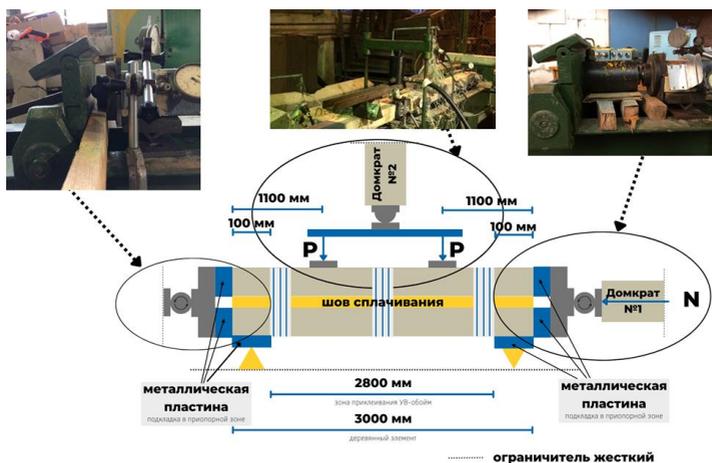


Рисунок 8 – Схема закрепления деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения с механическими связями в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура

Нагружение деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения с механическими связями в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура проводилось до достижения двух состояний:

- предельное состояние по эксплуатационной пригодности – состояние, при котором достигается максимально допустимый прогиб, равный 14,0 мм для аналогичного элемента цельного сечения. Величина нагрузки указана в таблице 3; шаг приложения нагрузки составляет 10 % от числового значения;

- предельное состояние по несущей способности – достижение максимальной допустимой нагрузки на соединение с использованием механической связи в виде замкнутого контура, чтобы разрушение произошло именно по механической связи в виде замкнутого контура. Критерием разрушения механической связи в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура является сдвиг

одного бруса относительно другого в деревянном сжато-изгибаемом элементе составного сечения более чем на 0,85 мм. Соотношение изгибающего момента к продольной силе принято 0,3 (таблица 3).

Таблица 3 – Нагрузка на деревянный сжато-изгибаемый элемент составного сечения с различным количеством механических связей по длине

	Соотношение M/N			
	0,3	0,5	0,7	1
Нагрузка для достижения предельного состояния по эксплуатационной пригодности				
«конструкция-1»	$N = 2800 \text{ Н}$	$N = 1600 \text{ Н}$	$N = 1180 \text{ Н}$	$N = 840 \text{ Н}$
«конструкция-2»	$M = 790 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M = 800 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M = 825 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M = 840 \text{ Н}\cdot\text{м}$
«конструкция-3»				
Нагрузка для достижения предельного состояния по несущей способности				
«конструкция-1»	$N = 3155 \text{ Н}$ $M = 947 \text{ Н}\cdot\text{м}$	–	–	–
«конструкция-2»	$N = 3677 \text{ Н}$	–	–	–
«конструкция-3»	$M = 1103 \text{ Н}\cdot\text{м}$	–	–	–

При экспериментальных натурных исследованиях контролировались следующие параметры: перемещение деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения в середине пролета и на опорах; деформации взаимного сдвига брусьев, формирующих составное сечение деревянного сжато-изогнутого элемента; относительные деформации по высоте поперечного сечения деревянных элементов в середине пролета деревянного составного элемента; относительные деформации по высоте поперечного сечения в механической связи в виде однонаправленной углеволоконной ленте замкнутого контура в середине пролета, на концах и в трех деревянного сжато-изгибаемого составного элемента.

Полученные результаты экспериментальных исследований подверглись сравнительному анализу с результатами численных исследований, полученных с использованием программного комплекса. Установлено, что результаты близки по значениям между собой и находятся в интервале 3–7 % по показателям деформаций и сдвигающего усилия.

В третьей главе определены численные значения коэффициентов податливости k_w и k_i для механической связи в виде однонаправленной углеволоконной ленты замкнутого контура для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения, которые представлены в таблицах 4–5.

Сформулированы основные требования и рекомендации для деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения при усилении и новом строительстве для сплочения деревянных элементов по высоте поперечного сечения с применением механической связи в виде однонаправленной углеволоконной ленты замкнутого контура.

Определен алгоритм подбора и расчета соединений с использованием механической связи в виде однонаправленной углеволоконной ленты замкнутого контура для деревянных сжато-изгибаемых элементов и предложена инженерная методика расчета деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения с соединениями в виде замкнутого контура.

Приведен практический пример подбора и расчета деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения с механической связью в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура при усилении деревянного сжато-изгибаемого элемента со сквозной локальной трещиной с использованием предложенной инженерной методики расчета. Численные значения, полученные по результатам расчета, подтверждены численным моделированием и сравнением нормальных напряжений и деформаций, возникающих в элементе.

Таблица 4 – Коэффициент k_w для элементов

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0,25	0,3	0,5	0,7	1
Длина элемента 3 м					
2	0,88	0,92	0,94	0,95	0,96
3	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86
10	0,70	0,74	0,76	0,78	0,80
Длина элемента 4 м					
2	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96
3	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92
10	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84
Длина элемента 6 м					
2	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96
3	0,88	0,92	0,94	0,95	0,96
10	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88

Таблица 5 – Коэффициент k_i для элементов

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0,25	0,3	0,5	0,7	1
Длина элемента 3 м					
2	0,78	0,82	0,84	0,88	0,9
3	0,52	0,55	0,56	0,59	0,6
10	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
Длина элемента 4 м					
2	0,80	0,84	0,86	0,89	0,93
3	0,55	0,58	0,60	0,62	0,64
10	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48
Длина элемента 6 м					
2	0,81	0,85	0,87	0,89	0,93
3	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64
10	0,41	0,42	0,44	0,46	0,48

Проведенная сравнительная технико-экономическая оценка усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов с механической связью в виде однонаправленной углеродволоконной ленты замкнутого контура подтвердила целесообразность использования механических связей в виде замкнутого контура и показала, что при сопоставлении со стоимостью изготовления новой полуарки усиление с использованием механических связей в виде замкнутого контура составляет не более 1,5 %, а при усилении с использованием классических материалов составляет 10,5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложен новый тип механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура, которая может быть применена при сплочении деревянных деталей по высоте поперечного сечения при усилении и строительстве новых деревянных сжато-изгибаемых элементов, отличающийся от известных аналогов высокой степенью коррозионной стойкости, простотой монтажа и снижением материалоемкости усиления до 1,5 % от стоимости новой конструкции [1-А; 5-А; 6-А; 8-А].

2. Впервые экспериментально обоснован механизм разрушения механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура, а также экспериментально установленные механические характеристики данного типа механической связи [2-А; 4-А; 8-А].

3. Впервые определены коэффициенты жесткости для механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура, которые позволили экспериментально подтвердить работу деревянного сжато-изгибаемого элемента составного сечения с механическими связями в виде замкнутого контура как составного элемента на податливых связях [2-А; 3-А; 4-А; 7-А].

4. Впервые экспериментально обоснованы численные значения коэффициентов податливости k_w и k_i для механических связей в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения по высоте поперечного сечения, которые позволяют оценить несущую способность и деформативность деревянного сжато-изгибаемого элемента с указанными механическими связями, с использованием инженерных методов расчета, изложенных в нормативных документах [4-А; 9-А; 10-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Экспериментально-практические результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать в научно-исследовательских и проектных организациях при проектировании усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов с продольными трещинами, в том числе со сквозными и магистральными, а также при наращивании поперечного сечения деревянного сжато-изгибаемого элемента.

Результаты диссертационной работы внедрены в практику проектирования ООО «ПГП» и учебный процесс в БНТУ.



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

- 1-А. Ладных, И. А. Современные тенденции в области усиления деревянных конструкций / И. А. Ладных // Вестн. СевКавГТИ. – 2017. – Вып. 3. – С. 128–133.
- 2-А. Ладных, И. А. К вопросу расчета композитных усиливающих элементов / И. А. Ладных // Вестн. гражд. инженеров. – 2018. – № 2. – С. 60–65.
- 3-А. Ладных, И. А. Экспериментальные исследования работы деревянных сжато-изогнутых элементов составного сечения на связях в виде «УВ-обойм» / И. А. Ладных // Жилищ. стр-во. – 2018. – № 7. – С. 43–46.
- 4-А. Ладных, И. А. К вопросу усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов с использованием соединений «УВ-Обойма» / И. А. Ладных // Архитектура и стр-во. – 2021. – № 2. – С. 48–55.

Статьи в материалах конференций

- 5-А. Ладных, И. А. Использование современных материалов для усиления деревянных конструкций / И. А. Ладных // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 26–27 окт. 2017 г. / Беларус.-Рос. ун-т ; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2017. – С. 196.
- 6-А. Ладных, И. А. Сравнительный анализ ТЭП методов усиления на примере усиления деревянных арок / И. А. Ладных // Вестн. Беларус. гос. ун-та трансп.: наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 146–147.
- 7-А. Ладных, И. А. Исследование работы деревянных элементов, усиленных углеродволоконной обоймой / И. А. Ладных // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) : сб. ст. II междунар. науч.-техн. конф., Брест, 29–30 марта 2018 г. / Брест. гос. техн. ун-т [и др.] ; редкол.: С. М. Семенюк [и др.]. – Брест, 2018. – С. 76–80.
- 8-А. Ладных, И. А. «УВ-обоймы» для усиления деревянных сжато-изогнутых элементов [Электронный ресурс] / И. А. Ладных // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : XXI междунар. науч.-практ. конф. : сб. материалов семинара «Молодежные инновации», Москва, 25–27 апр. 2018 г. / Нац. исслед. моск. гос. строит. ун-т. – М., 2018. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_35151417_22184884.pdf. – Дата доступа: 02.11.2023.
- 9-А. Ладных, И. А. Определение коэффициента жесткости для расчета деревянных составных элементов, усиленных углеродволоконной замкнутой обоймой / И. А. Ладных, А. И. Згировский // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XXI междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 25–26 окт. 2018 г. : в 2 ч. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. В. Тур [и др.]. – Брест, 2018. – Ч. 1. – С. 155–160.
- 10-А. Ладных, И. А. Методика расчета деревянных сжато-изгибаемых элементов, усиленных соединениями на «УВ-обойме» [Электронный ресурс] / И. А. Ладных // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электрон. сб. ст. III междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 апр. 2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Д. Н. Лазовский (пред.) [и др.]. – Новополоцк, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)

РЕЗІЮМЭ

Ладных Ірына Аляксандраўна

Сціскальна-выгнутыя драўляныя элементы з механічнымі сувязямі ў відзе аднанакіраваных вуглерадавалаконных стужак замкнутага контуру

Ключавыя словы: драўляныя сціскальна-выгнутыя элементы, механічная сувязь у выглядзе замкнёнага контуру, аднанакіраваныя вуглеродвалаконная стужка, ўзмацненне драўляных канструкцый, драўляныя састаўныя элементы, стан гранічны.

Мэта працы – распрацоўка канструкцыі і метадыкі разліку механічнай сувязі для злучэння драўляных сціснута-выгінальных элементаў па вышыні папярочнага складовага перасеку ў выглядзе аднанакіраванай вуглерадавалаконнай стужкі замкнёнага кантуру.

Метады даследавання: мадэліраванне, вымярэнне, эксперымент, параўнанне.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацаваны новы тып механічнай сувязі ў выглядзе аднанакіраванай вуглерадава-валаконнай стужкі замкнёнага контуру для злучэння драўляных сціснута-выгінальных складовых элементаў па вышыні папярочнага сячэння, якая можа прымяняюцца для ўзмацнення існуючых драўляных элементаў, у тым ліку клееных, так і для стварэння новых драўляных сціснута-выгінальных элементаў састаўнога сячэння.

Упершыню эксперыментальна вызначаны механічныя характарыстыкі, характар працы, механізм разбурэння і каэфіцыенты калянасці для дадзенай механічнай сувязі. Усталявана, што драўляны сціснута-выгінальнага састаўны элемент, злучены з выкарыстаннем прапанаваных механічных сувязяў працуе як састаўны элемент на згодлівых сувязях.

Упершыню вызначаны каэфіцыенты згодлівасці k_w і k_i для новага віду механічнай сувязі, якія выкарыстоўваюцца для разліку драўляных сціснута-выгінальных элементаў састаўнога сячэння па двух групах гранічных станаў і падбору неабходнай колькасці механічных сувязяў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Прапанаваны новы тып механічнай сувязі можа прымяняцца пры праектаванні новых і ўзмацненні існуючых драўляных сціснута-выгінальных элементаў.

Сфера прымянення: праектаванне будаўнічых канструкцый, навуковадаследчая дзейнасць, навучальны працэс.

РЕЗЮМЕ

Ладных Ирина Александровна

Сжато-изгибаемые деревянные элементы с механическими связями в виде однонаправленных углеродоволоконных лент замкнутого контура

Ключевые слова: деревянные сжато-изгибаемые элементы, механическая связь в виде замкнутого контура, однонаправленная углеродоволоконная лента, усиление деревянных конструкций, составной деревянный элемент.

Цель исследования – разработка конструкции и методики расчета механической связи для сплочения деревянных сжато-изгибаемых элементов по высоте поперечного составного сечения в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура.

Методы исследования: моделирование, измерение, эксперимент, сравнение.

Полученные результаты и их новизна. Разработан новый тип механической связи в виде однонаправленной углеродоволоконной ленты замкнутого контура для сплочения деревянных сжато-изгибаемых составных элементов по высоте поперечного сечения, которая может применяться для усиления существующих деревянных элементов, в том числе клееных, так и для создания новых деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения.

Впервые экспериментально определены механические характеристики, характер работы, механизм разрушения и коэффициенты жесткости для данной механической связи. Установлено, что деревянный сжато-изгибаемого составной элемент, сплоченный с использованием предложенных механических связей работает как составной элемент на податливых связях.

Впервые определены коэффициенты податливости k_w и k_i для нового вида механической связи, которые используются для расчета деревянных сжато-изгибаемых элементов составного сечения по двум группам предельных состояний и подбора необходимого количества механических связей.

Рекомендации по использованию. Предложенный новый тип механической связи может применяться при проектировании новых и усилении существующих деревянных сжато-изгибаемых элементов.

Область применения: проектирование строительных конструкций, научно-исследовательская деятельность, учебный процесс.

SUMMARY

Ladnykh Irina

Compressed-bending wooden elements with malleable bonds in the form of unidirectional carbon fiber tapes of a closed loop

The key words: wooden compressive-bending elements, malleable bond in the form of a closed loop, unidirectional carbon fiber tape, strengthening of wooden structures, built-up wooden element, limit states.

The aim of the study – development of a design and methodology for calculating a malleable bond for built-up wooden compressed-bending elements along the height of the cross-section of the composite section in the form of a unidirectional carbon fiber tape of a closed contour.

Research methods used: modeling, instrumental measurements, laboratory and full-scale testing, data comparison.

Scientific results obtained and their novelty. A new type of malleable bond has been developed in the form of a unidirectional carbon-fiber tape of a closed loop for uniting built-up wooden compressed-bending elements along the height of the cross section, which can be used to strengthen existing wooden elements, including glued ones, and to create new ones wooden compressed-bending elements of a composite section.

The mechanical characteristics, nature of work, destruction mechanism and stiffness coefficients for a given malleable bond were experimentally determined. It has been established that a built-up wooden compressed-bending element, united using the proposed malleable bonds, works as a built-up element with malleable bonds.

The compliance coefficients k_w and k_i were determined for a new type of malleable bond, which are used to calculate built-up wooden compressive-bending elements according to two groups of limit states and select the required number of malleable bonds.

Recommendations for usage. The proposed new type of malleable bond can be used in the design of new and strengthening of existing built-up wooden compressed-bending elements.

Fields of application: analysis and design of building structures, scientific and engineering research, training of civil engineering students in structural steel design.

Научное издание

ЛАДНЫХ
Ирина Александровна

**СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ В ВИДЕ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ
УГЛЕРОДОВОЛОКОННЫХ ЛЕНТ ЗАМКНУТОГО КОНТУРА**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

Подписано в печать 23.11.2023. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Цифровая печать.
Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,31. Тираж 60. Заказ 986.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.