

ИННОВАЦИИ В ДЕРЕВЯННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ



Материалы 9-й Международной научно-практической конференции

11–13 апреля 2018 года

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2018

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

ИННОВАЦИИ В ДЕРЕВЯННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Материалы 9-й Международной научно-практической конференции

11–13 апреля 2018 года

Санкт-Петербург
2018

УДК 694.1:005.591.6

Инновации в деревянном строительстве: материалы 9-й Международной научно-практической конференции; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – 90 с.

ISBN 978-5-9227-0861-6

Представлены статьи участников 9-й Международной научно-практической конференции «Инновации в деревянном строительстве» 11–13 апреля 2018 г.

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, доцент А. Б. Шмидт (председатель);
зав. каф. металлических и деревянных конструкций;
д-р техн. наук, профессор А. Г. Черных (ответственный редактор);
канд. техн. наук, доцент С. И. Миронова;
канд. техн. наук, доцент В. Е. Бызов

ISBN 978-5-9227-0861-6

© Коллектив авторов, 2018
© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2018

УДК 699.833

Татьяна Михайловна Пушкина, аспирант
Владимир Иванович Мелехов,
д-р тех. наук, профессор
Татьяна Витальевна Тюрикова,
канд. техн. наук
(Северный арктический федеральный
университет имени М.В. Ломоносова)
E-mail: pushkinTan@gmail.com,
foest@narfu.ru

Tatiana Mih Pushkina, post-graduate student
Vladimir Ivan Melekhov
Dr. of Tech. Sci., Professor
Tatiana Vitalevna Tyurikova,
PhD of Techn. Sci.
(Northern (Arctic) Federal University named
after M.V. Lomonosov)
E-mail: pushkinTan@gmail.com,
foest@narfu.ru

ДЕРЕВЯННАЯ АРХИТЕКТУРА КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА: ОБСЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ

WOODEN ARCHITECTURE OF KENOZERO NATIONAL PARK: INSPECTION AND MAINTENANCE

В статье рассмотрены способы мониторинга, консервации и сохранения объектов культурного наследия на территории ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский».

Ключевые слова: мониторинг, сохранение, профилактические работы.

The article shows the ways of monitoring, conservation and preservation of cultural heritage in the territory of the "Kenozero National Park".

Keywords: the monitoring, conservation, preventive work.

На балансе ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский» находится 46 объектов культурного наследия – памятников деревянного зодчества, из которых два имеют статус федерального значения: ансамбль Почезерского погоста в д. Филипповской, включающий церковь Происхождения Честных Древ Животворящего креста (1785 г.), церковь во имя Обретения Главы Иоанна Предтечи (XVIII в.) и колокольню (XVIII в.); а также ансамбль Порженского погоста в д. Горбачихе (бывший населенный пункт д. Федоровская), включающий церковь Св. Великомученика Георгия (1782 г.) и деревянную ограду (1854–1855 гг.) (рис. 1).

Для сохранения объектов культурного наследия очень важна регулярность мероприятий по мониторингу их технического состояния. Результаты мониторинга используются при осуществлении наблюдений за состоянием объекта культурного наследия в процессе эксплуатации, выполнения ремонтно-реставрационных работ, а также при оказании на них воздействий, вызываемых различными техногенными или природными факторами [1, с. 8]. Мониторинг проводится два раза в год (плановый осмотр). Внеплановые осмотры объекта проводятся после стихийных природных явлений (град, ураган, метель и т. д.), вследствие которых могут быть повреждены конструктивные элементы объекта.

Задачей мониторинга является максимально возможное замедление процессов старения, вызываемых факторами деградации или эксплуатации.



Рис. 1. Карта расположения памятников архитектуры на территории Кенозерского национального парка

Мониторинг включает следующие виды профилактических работ:

- фотофиксация объекта и всех действий, которые с ним производятся;
- скашивание травы на территории вокруг памятника (особое внимание уделяется объекту во время пожароопасного сезона) 2 раза в сезон, по необходимости чаще;
- очистку от пыли;
- очистку от рудеральной растительности;
- очистку водостоков;
- ремонт кровли;
- восстановление защитного слоя;
- установку конструкций для обеспечения безопасности аварийных элементов;
- занесение обнаруженных на памятниках неисправностей в дежурный журнал памятника (дата, подпись);
- очистку от снега подходов ко всем входным дверям и взвозам;
- уборку снега внутри памятников, вокруг памятника;
- расчистку от снега пожарных подходов;
- ремонтные работы и работы перед весенним снеготаянием;
- осмотры после продолжительных метелей всех памятников, тщательные осмотры подклетей, срубов, чердаков;
- осмотр всех памятников перед началом снеготаяния на наличие попавшего на них снега;
- очистку от снега звонниц и крыш.

Территория национального парка поделена на инспекторские участки, за каждым участковым инспектором закреплена определенная территория, за которую он отвечает, в том числе за объекты культурного наследия, которые на ней находятся (отслеживается их техническое состояние; выясняется, нет ли следов проникновения и взлома; и т. д.). Кроме того, в Кенозерском парке в штате и по договору работают местные жители – смотрители памятников, которые осуществляют контроль за порядком, проводят уборку в часовнях, следят за сохранностью интерьеров, открывают часовни для местных жителей и посетителей (рис. 2).

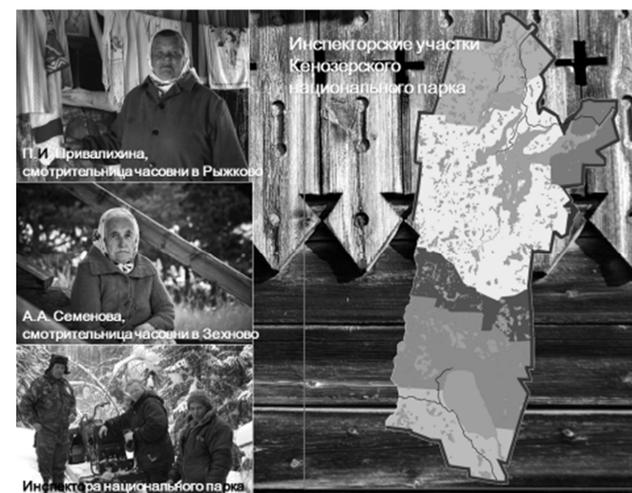


Рис. 2. Инспекторские участки ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский»

Результаты мониторинга фиксируются в журнале учета технического состояния объекта. На основании этой информации организуются ремонтные и профилактические мероприятия, направленные на устранение выявленных дефектов.

Результативность мониторинговых работ проследим на примере часовни Святителя Николая Чудотворца (перестраивавшейся в конце XVIII – начале XIX в. и 1913 г.) в деревне Бухалово. При осмотре памятника были выявлены деформации сруба с связи с большим давлением покрытия кровли на венцы стен. Нижние венцы сруба ушли под землю. Ранее при консервационных работах по причине невозможности поменять сгнившую доску кровли, сверху был положен слой шифера. Объект был поставлен в план, и на нем были произведены следующие виды работ: разобраны слои кровли и уложены два слоя дорожной и желобленной доски с прокладкой гидроизоляции между слоями (рис. 3).



Рис. 3. Часовня Свяителя Николая Чудотворца (кон. XVIII – нач. XIX века, 1913 г.) д. Бухалово

Немаловажным фактором является сотрудничество учреждения с коллегами из других организаций по сохранению культурного наследия. В 2013–2015 гг. реализован российско-норвежский проект «Деревянная архитектура в культурном ландшафте Кенозерья. Мониторинг и поддержание».

Работа по проекту велась по четырем основным направлениям:

1. Мониторинг и поддержание памятников.
2. Консервация отдаленных памятников (до начала комплексных работ по реставрации).
3. Программа пожарно-охранных мероприятий на отдаленных памятниках Кенозерья.
4. Программа управления культурными ландшафтами Кенозерья.

Согласно запланированным работам, было выполнено устройство молниезащиты [2, с. 8] на 15 объектах, что позволило значительно сократить опасность возгорания объектов культурного наследия. Также в рамках программы была проведена совместная поездка российских и норвежских специалистов по объектам парка, где обсуждались вопросы пожарной безопасности отдаленных объектов. Специалисты из Норвегии показали, как с помощью простых средств можно предотвратить возникновение проблем (в частности, проверять проводку, сварочные работы проводить только силами квалифицированных сотрудников, убирать инструменты после работ, каждый день после работы убирать мусор и т. д.) (рис. 4).

При консервационных и реставрационных работах Кенозерский национальный парк сталкивался с постоянной проблемой по заготовке, перевозке

и устройству неинвентарных строительных лесов на объекте. За счет разработанной программы были приобретены инвентарные строительные леса. Строительные леса удобны в использовании: легко устанавливаются, не повреждая стен памятника, мобильны в транспортировке. Впервые строительные леса были установлены для проведения консервационных работ на церкви Сретения Господня в деревне Ряпусовский погост (площадь кровли здания – 450 м², высота памятника – 7–9 м). Для особо охраняемых природных территорий этот вопрос особенно актуален.



Рис. 4. Устройство молниезащиты на объекте «Часовня Введения Богородицы во Храм 1801 г.» д. Рыжково

В ходе реализации программы были приобретены приборы по определению и контролю влажности материала. Температурно-влажностный режим объектов культурного наследия является динамической величиной, характеризуемой двумя составляющими: изменениями параметров микроклимата внутренних помещений и циклом изменений влажностного и температурного режимов материалов конструкций (в том числе стенопись) [3, с. 8]. Измеритель влажности ВИМС-2 позволяет контролировать норму соблюдения влажности древесины, устанавливаемой на объекте (венцы, доска и др.), а также выявлять наиболее поврежденные влагой участки бревен. Влагомер не повреждает поверхностей, используется для проверки влажности разных материалов, в том числе бетона, кирпича, сыпучих материалов и др. Это оборудование применялось при приемке кровельной доски во время реставрационных работ на Порженском погосте. Влажность древесины не превышала предела насыщения волокна, т. е. впитываемой из воздуха влагой; поэтому можно с уверенностью сказать, что доска, укладываемая на кровлю, не будет иметь значимых деформаций.

Для формирования базы данных описания и учета недвижимых объектов в Кенозерском парке была приобретена программа КАИСА-НАСЛЕДИЕ. Работа по этой программе является для парка перспективной.

В рамках проекта на объектах были проведены консервационные работы, которые из-за своего объема ранее не представлялись возможными:

1. Церковь Сретения Господня (нач. XX в., Плесецкий р-н, д. Ряпусово) – замена стропильной конструкции, устройство кровельного покрытия.

2. Храм Георгия Победоносца (XIX в., Каргопольский р-н, д. Казариновская, бывший населенный пункт Труфаново) – усиление стены, замена нижних венцов стен, замена кровельного покрытия, устройство ставень, замена сгнившего настила цокольного перекрытия.

3. Церковь апостола Андрея Первозванного (1898–1899 гг., Плесецкий р-н, д. Горбачиха, бывший населенный пункт Видягино) – замена кровельного покрытия.

Одним из направлений деятельности парка по консервации памятников являлась работа по привлечению добровольных помощников. За три года работы волонтерского лагеря «Часовенный рай» была произведена консервация на 12 памятниках. Волонтеры заменили старое кровельное покрытие на дороженную и желобленную доску с прокладкой гидроизоляции между слоями, очистили кровельные покрытия от лишайника, территорию – от кустарников, выполняли другие виды необходимых работ (рис. 5, 6).



Рис. 5. Фото объекта после консервационных работ «Часовня Анастасии Узорешительницы 1920 г.» д. Косицыно



Рис. 6. Фото объекта после консервационных работ «Часовня пророка Илии, 1801–1804 гг.» д. Свиное

Очень важное значение в сохранении культурного наследия деревянной архитектуры имеет профессионализм местных плотников. Их навыки, полученные из рук в руки от старых мастеров, неоценимы; поэтому постоянное сотрудничество национального парка с местными мастерами (которые работают по договору, курируют волонтерские лагеря и др.) является залогом качественной работы по сохранению объектов культурного наследия Кенозерья.

Литература

1. ГОСТ Р 56198-2014: Мониторинг технического состояния объектов культурного наследия. Недвижимые памятники. Общие требования (Введ. с 01.04.2015). М.: Изд-во стандартиформ, 2015. С – 1.
2. СО 153-34.21.122-2003: Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Введ. с 30.06.2003. Утв. приказом Минэнерго РФ от 30 июня 2003 г. № 280. С – 1.
3. ГОСТ Р 55567-2013. Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования. Введ. с 01.06.2014. Изд-во стандартиформ, 2014. С – 28.
4. Том II. Книга 4. Научные исследования: научно-реставрационное обоснование; комплексные инженерные исследования. Арх. № 5623 институт «Спецпроектреставрация» г. Москва 1986 г.

УДК 624.011

Чан Куок Фонг, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Tranqp125@gmail.com

Tran Quoc Phong, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: Tranqp125@gmail.com

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ – РЕШЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ УМНОГО ГОРОДА

DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIONS OF WOODEN HOUSES – CONSTRUCTION SOLUTION FOR A SMART CITY

Изменение климата и глобальное городское население растет, требуют строительства умных городов, которые обеспечивают дружескую обстановку и современную жизнь. Создание устойчивой инфраструктуры является важной проблемой для интеллектуального города, выбор материальной структуры является обязательным. Деревянная конструкция – это выбор будущего.

Ключевые слова: умный город, деревянная конструкция, устойчивое развитие, переработанные материалы, спутниковый город Выбросы CO₂.

Climate change and urban population increase demand for intelligent cities to ensure a friendly environment and modern life. Building a sustainable infrastructure is an important issue for an intelligent city, the choice of material structure is imperative. Wooden structure is the choice of the future.

Keywords: smart city, wooden construction, sustainable development, recycled materials, satellite city CO₂ emissions.

Актуальность. Изменение климата, глобальное городское население растет, а социальные проблемы требуют от людей решения устойчивого развития. Строительство умных городов – это неотложный вопрос.

Основной целью умных городов является управление энергоэффективностью, сокращение загрязнения, повышение безопасности или улучшение качества предоставляемых услуг.

Создайте умный город, который должен интегрировать многие элементы. Умный город – это умное управление, умное проживание, умные люди, умная среда, умная экономика, умная мобильность. Первоначальный элемент построения устойчивой инфраструктуры [6].

Необходимость защиты окружающей среды и устойчивого развития является важным стимулом для изменения материалов, необходимых для восстановления стандартной среды обитания.

Завершена разработка стали и железобетона, оценивающая эффективность и воздействие промышленности на окружающую среду, которая больше не подходит для устойчивого развития. Люди заботятся об устойчивости своей окружающей среды и обращают внимание на развитие умного города. Укладка фундамента для города должна быть устойчивой и экологически чистой.

Древесина является возобновляемым материалом в сочетании с технологическим развитием, которое может превратить дерево в ключевой материал в текстильной промышленности. Превосходство древесины в целом и технология деревянного строительства, в частности, приведут к оптимальному решению модельных проектов интеллектуального развития города.

Важным вопросом являются аналитические методы, сравнительная оценка через статистику, чтобы продемонстрировать развитие интеллектуальной структуры древесины в городе.

Основа для развития умного города

Устойчивая инфраструктура является основным фактором для умного города. Умный город будет сочетать факторы и действовать плавно, помогая друг другу достичь стабильности развития города. Инфраструктура является основой эффективного управления городами, обеспечивая качественную жизнь. Создайте систему интеллектуального управления, интеллектуальную экономию, интеллектуальную жизнь, интеллектуальную транспортную систему, интеллектуальную среду и умных людей [4].



Рис. 1. Проблемы умных городов

Инфраструктура – это тот фактор, который гарантирует построение следующего элемента структуры, который делает умный город. Это офис, удобное жилье, дружелюбная нетоксичная, удобная транспортная система, все больше со-

средоточены на энергоэффективности, производстве возобновляемых источников энергии, устойчивом строительстве, управлении водными ресурсами и ресурсоэффективности.

Сырье для зданий города должно обеспечить экологическое сокращение, устойчивое и эффективное использование природных ресурсов. Реальность такова, что влияние структуры на устойчивость города является значительным. В настоящее время крупные города имеют все больше уровней загрязнения, отчасти из-за того, что они поглощают воздух и выбрасывают его прямо в структуру.

«Умные города» – это те, которые используют инновационные методы решения повседневных проблем, в настоящее время работают над разработкой будущего видения улучшения уровня жизни своих жителей. Поэтому для развития города необходимы новые и соответствующие конструктивные и материальные решения.

Древесина – это будущий материал, который гарантирует принцип устойчивого строительства. Древесина является излюбленным строительным материалом, потому что в отличие от бетона или стали, он является возобновляемым ресурсом и стоит меньше затрат. Кроме того, древесина также сокращает время строительства и снижает общий вес здания. Применение новых технологий для строительства деревянных зданий постепенно сравнивается с бетонными и стальными конструкциями.

Деревянные конструкции опираются на прорыв в технологии материалов. В настоящее время многие виды древесины имеют право на строительство высотных зданий и все чаще используются благодаря удобству и способности быстро выполнять работу.

Встроенные готовые деревянные компоненты предназначены для увеличения скорости строительства, сокращения отходов и других раздражающих элементов на строительной площадке. В частности, по сравнению с железобетоном, деревянные компоненты легко ремонтируются, и в случае необходимости демонтировать дом можно использовать повторно, его нужно редактировать очень мало.

Достоинства деревянной конструкции: Достоинства деревянной конструкции: наличие широкой, постоянно возобновляемой сырьевой базы; биологическая совместимость с человеком и животными – в зданиях из древесины наилучший микроклимат; высокие эстетические и акустические свойства, малый коэффициент теплопроводности поперек волокон, меньшая трудоемкость механической обработки, возможность создания гнуто клееных конструкций [1].

Время строительства, гибкость конструкций древесины в соответствии с изменением общества, люди, живущие в умном городе: динамика, изучение и изменение. Деревянные здания демонстрируют превосходство в искусстве, дружелюбное к окружающей среде [3]. Исследования показывают, что люди, живущие в бунгало, чувствуют себя более комфортно, чем дома из железобетона.

Влияние текстуры древесины на среду обитания в умном городе

Необходимость защиты окружающей среды и устойчивого развития также является важной движущей силой для изменения выбора материалов, происходит быстрее. Поскольку это возобновляемый материал, его можно производить на быстрорастущих плантациях, а древесина помогает решить многие проблемы, связанные с добычей полезных ископаемых. Например, в то время как каждая тонна произведенной стали производит 1,5 тонны углекислого газа, 1,125 тонн двуокиси углерода выделяется на тонну CO₂, а каждая тонна древесной биомассы добавляется для поглощения 1,42 т CO₂.

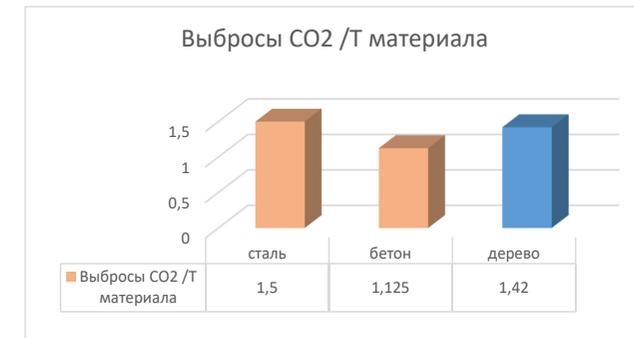


Рис. 2. Схемы выбросов CO₂ материалов

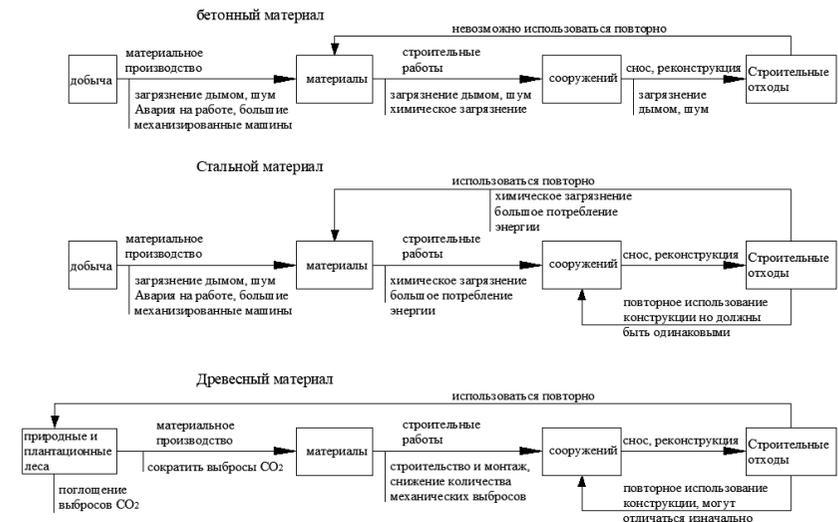


Рис. 3. Производство и использование материалов

Древесина так же функциональна, как бетон, но нужно двигаться, чтобы строить деревянные. Очень «текущим» во время изменения климата, поскольку сегодня: экологические, экологичные и экологически чистые материалы должны быть более приоритетными.

Например, чтобы продемонстрировать, что древесина является экологическим материалом, необходимым для устойчивого развития:

древесина считается возобновляемой и экологически чистой по сравнению с бетоном и сталью. На долю железа и стали приходится почти 5 % глобальных выбросов парниковых газов, а другие материалы в процессе строительства, такие как бетон, составляют 6 %. Другими словами, железобетонные здания также способствуют изменению климата, таким как выбросы от дорожных транспортных средств.

Деревянная конструкция проекта “Oakwood Tower” в Лондоне может поглощать 50 000 тонн двуокси углерода в год, что эквивалентно 5000 человек [5].

Если вы построите 20-этажное деревянное здание вместо цемента и бетона, Сокращение составит 4300 тонн, что эквивалентно сокращению на 900 автомобилей с улицы каждый год. Строительство деревянных конструкций также является устойчивым, экономичным и менее экологически чистым, чем арматурный бетон.

Современные технологии деревообработки

В настоящее время разработка технологии обработки древесины преодолела недостатки этого материала, ее можно сравнить со сталью, бетоном по факторам [7]: прочность, долговечность, деформация, огнеупорные.



Рис. 3. Соединений клееных деревянных конструкций с применением быстрорасчлняемого скрытого крепежа

Нынешние технологии: Материал CLT огнестойкий и значительно более прочный, чем обычная древесина, что является идеальным материалом для крупных строительных проектов. Закон о строительстве требует, чтобы все строительные работы были безопасными независимо от используемых

материалов. Было доказано, что конструкция деревянной рамы является безопасной и эффективной противопожарной защитой. У тяжелой древесины есть преимущество горения, поскольку она образует уголь снаружи, сохраняя при этом свою прочность, замедляя процесс горения и имея время уйти от здания [5].

Кроме того, эта функция предварительно собрана с соответствующей разработкой, что сокращает время строительства деревянной конструкции.

Инновационные прорывы Деревянные конструкции, отвечающие разнообразию инфраструктуры для умного города

С развитием современных технологий деревообработки мы смогли построить высотные здания, большие пространства и отдельные жилые районы. Структура древесины будет играть важную роль в структуре здания вместо других промышленных материалов.

Древесный материал по-прежнему отвечает разнообразию конструкции в умном городе.

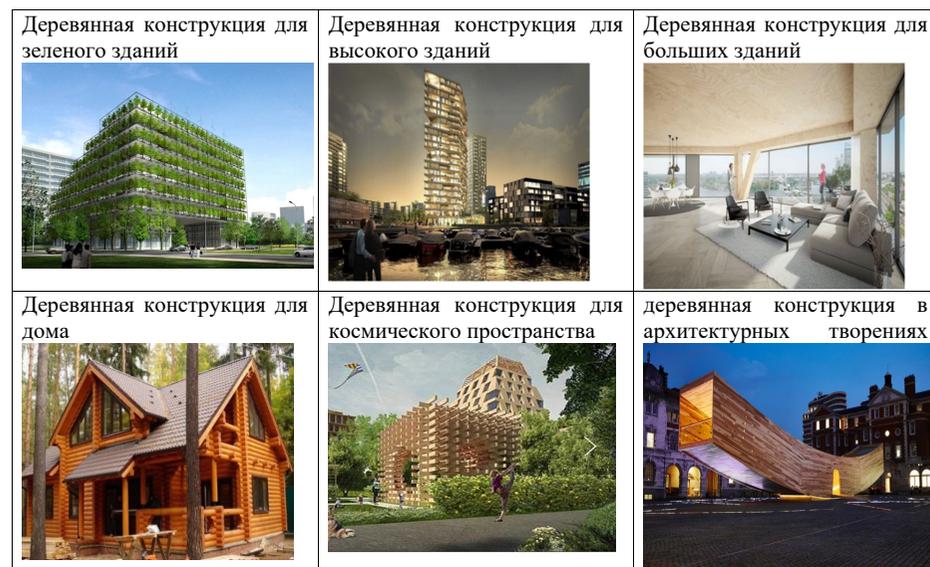


Рис. 4. Различные применения в конструкции древесины

Проблема возобновляемых ресурсов в умном городском строительстве.

На протяжении многих лет наблюдается тенденция использования древесины в качестве экологически чистого материала. Некоторые архитекторы считают, что ответственный лесозаготовок является одним из лучших строительных материалов, которые имеют архитекторы и инженеры

для сокращения выбросов парниковых газов и хранения углерода в зданиях здание [2]. В современном обществе нам нужны решения, которые связаны с жизнью, а также более экологичное решение в естественной среде.

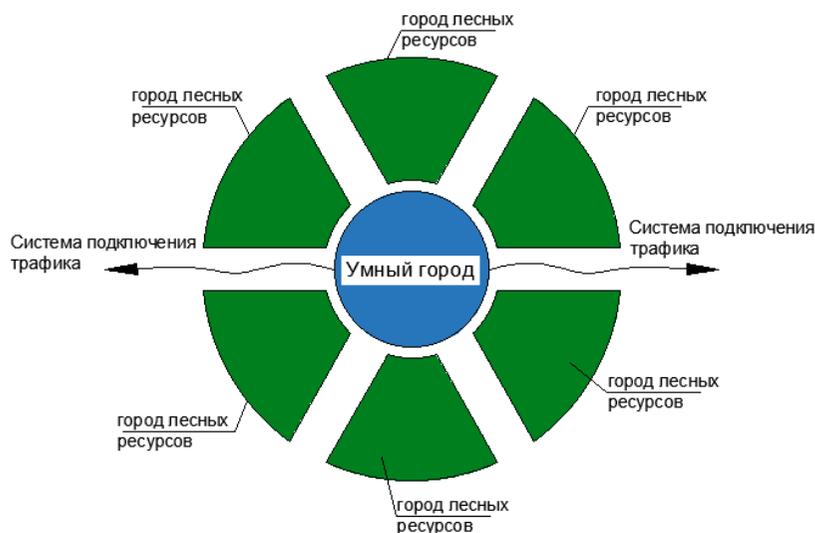


Рис. 5. Развитие спутникового городского леса

Строительство городов-спутников является лесным ресурсом. Роль предоставления материалов для строительства города, регулирующих поглощение парниковых газов. Эти города управляют переработкой, добычей и переработкой древесных материалов. в работах будет использоваться древесина из лесов, посаженных для строительства и не связанных с обезлесением.

Город лесов обеспечивает поставку древесного материала для умного города. Там будут расположены перерабатывающие и перерабатывающие заводы для создания непрерывной поставки сырья и реконструкции города-спутника. Также заслуживает внимания управление ресурсами городов ресурсов.

Выводы и рекомендации

Деревянные конструкции будут играть важную роль в устойчивом развитии инфраструктуры. Обеспечьте дружелюбие, регенерацию окружающей среды и уменьшите потребление энергии.

В будущем структура древесины будет играть ключевую роль, занимая значительную часть инфраструктуры, чтобы сбалансировать развитие и устойчивость окружающей среды в умных городах.

Древесина является источником переработанного материала, создавая объем деревянного строительного материала, который также поглощает некоторые из выбросов в окружающей среде. Технология текстуры древесины будет решением для будущего, способствуя творчеству в конструкции и архитектуре города. Изменение мышления в развитии современного города.

гибкая и универсальная деревянная конструкция в соответствии с меняющимися темпами современного общества

Удовлетворить спрос на устойчивое развитие умных городов. мы можем мечтать о более чистых, более устойчивых и дружелюбных городах благодаря древесным материалам в ближайшем будущем.

Литература

1. Офицерова Л. И. Учебно-методическое пособие к курсу лекций// Конструкции из дерева и пластмасс. 2014.
2. Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы 2 Международной научно-технической конференции, Кострома, 9-11 сент., 2013. – Кострома: Костромской государственной технологической университет, 2013. – 148 с., ил.
3. Всесоюзная конференция по деревянным конструкциям. Дерево – строительный материал. Основные показатели физической, химической и биологической прочности, огнестойкости и механической крепости дерева [Текст]: сборник №1 / II Всесоюзная конференция по деревянным конструкциям.
4. Green Zoom. Практические рекомендации по снижению энергоемкости и повышению экологичности объектов гражданского и промышленного строительства// строительный книга 01. 2015.
5. Прочность древесины. URL: <http://www.dccd.vn/vi/tin-tuc/chi-tiet/299/> (дата обращения: 07.03.2018).
6. Технологии «умных» городов и прогнозы их развития. URL: <https://vc.ru/26713-smart-city-2180.aspx> (дата обращения: 07.03.2018).
7. Невероятная новая «супер древесина» так же сильна, как сталь. URL: <https://inhabitat.com/super-wood-is-as-strong-as-steel/> (дата обращения: 09.03.2018).

УДК 69.032.21

Игорь Николаевич Бардин,
аспирант

Александр Викторович Карельский,
канд. техн. наук, доцент

Борис Васильевич Лабудин,
д-р техн. наук, профессор

(Северный (арктический) федеральный
университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск)

E-mail: i.bardin@narfu.ru

Igor Nikolayevich Bardin,
postgraduate student

Alexander Viktorovich Karelsky,
Cand. Tech. Sciences, docent

Boris Vasilievich Labudin,
Dr. Tech. Sciences, Professor

(Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk)

E-mail: i.bardin@narfu.ru

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ

FEATURES OF CONSTRUCTION OF HIGH-RISE WOODEN BUILDINGS

В нашем вечно изменяющемся мире догма, связанная с применением, только стали и бетона в высотном домостроении, ставят под сомнение, и спрашивают, есть ли другие альтернативные конструкционные материалы с меньшим воздействием на окружающую среду, которые легче, экономичнее, теплоэффективнее, чем сталь и бетон. Таким материалом может стать древесина, о которой незаслуженно забыли в области высотного домостроения из-за различного рода предрассудков. Строительство деревянных зданий свыше 4 этажей за рубежом ведется в течении уже последних 10-15 лет. Чтобы перенять их опыт для строительства такого рода зданий в нашей стране необходимо проанализировать какими методами и принципами они руководствовались.

Ключевые слова: Высотные деревянные здания, конструктивные системы, CLT-панель.

In our ever-changing world, the dogma associated with using only steel and concrete in high-rise housing construction is questioned and asked whether there are other alternative construction materials with less environmental impact, which are lighter, more economical, more heat-efficient than steel and concrete. Such material can become wood, which was undeservedly forgotten in the field of high-rise housing construction due to various kinds of prejudice. The construction of wooden buildings over 4 floors abroad has been ongoing for the past 10-15 years. To adopt their experience for the construction of such buildings in our country, it is necessary to analyze the methods and principles they were guided.

Keywords: High-rise wooden buildings, structural systems, CLT-panel.

Высотные деревянные здания существовали веками. 1400 лет назад высокие пагоды в Японии были построены до 19 этажей в лесу и по сегодняшний день все еще стоят в условиях высокого сейсмического и влажного климата.

Основным толчком в развитие многоэтажных деревянных зданий стало разработка и выведение на рынок разных высокопрочных конструкций на основе древесины, такие как CLT-панель, клеёный брус, семейство SCL – конструкционная композитная древесина (LVL, PSL, LSL, OSL).

Технические разработки и растущая доступность данных материалов позволили использовать их в качестве несущих элементов каркаса: колонн, балок, стеновых панелей, перекрытий, а также перегородок, балконов и даже несущих элементов лестничных клеток. Исходя из этого, возник вопрос о их возможной взаимосвязи друг с другом.

Проанализировал местоположения большинства объектов, существующих или находящиеся на стадии разработки, деревянные здания свыше 4 этажей строятся в основной своей массе в западной части Европы. Это связано в первую очередь с налаживанием производства CLT-панелей в этих странах. Что касается Канады, США и Австралии, то они подхватили тенденцию применения древесины в высотном домостроении и начали развивать производство древесных высокопрочных конструкций и строительство деревянных зданий для решения своих проблем, связанных с дефицитом жилья и резким изменением климата.



Рис. 1. Карта Мира. Места расположения деревянных зданий свыше 4 этажей

При анализе зарубежного опыта можно сформировать 3 конструктивные системы, по которым на данный момент осуществляется строительство многоэтажных деревянных зданий:

- каркасная (балочно-стоечная);
- стеновая (панельная);
- комбинированная.

Основными конструкционными материалами стеновой (бескаркасной) системы являются CLT-панели. Из них выполняются все несущие элементы здания. Перекрытия укладываются непосредственно на верхнюю часть стеновых панелей, благодаря чему образуется платформа для возведения последующего этажа. Наружные и внутренние стены воспринимают нагрузки от меж-

дуэтажных перекрытий. Для передачи нагрузки, устойчивости и жесткости несущие элементы соединяются друг с другом по длине металлическими кронштейнами, которые крепятся на CLT-панель большим количеством гвоздей, болтов или шурупов.



Рис. 2. Здание StadHaus, Великобритания

Комбинированные системы это сочетание в здании по его высоте или протяженности 2-х или нескольких конструктивных систем. Например, панельной и каркасной систем. Примером такого здания может быть жилое здание Treet в Норвегии. Несущий остов здания состоит из клеенных балок, вертикальных связей и колонн, расположенный на бетонном основании. На двух уровнях есть железобетонные перекрытия, на которые устанавливаются в несколько рядов готовые жилые модули. Эти блоки изготавливаются из CLT-панелей с полным комплектом отделки, утепления и коммуникаций. Блоки в таком виде доставляются на объект и при помощи крана и монтажников осуществляется сборка блочно-модульного конструктора.

В общем случае каркасные здания представляет из себя либо рамную систему, либо пространственный каркас. В практике проектирования каркасов в железобетонном и стальном исполнении конструктивные системы подразделяются на рамные, рамно-связевые и связевые. Однако для деревянных конструкций учитывая податливость соединений рамная система использоваться не может. Поэтому все балочные каркасы считаются как связевые системы. При этом следует иметь ввиду, что узлы стыка ригелей с колоннами могут

быть как абсолютно-шарнирными, так и податливыми. Абсолютно жесткого узла быть не может.

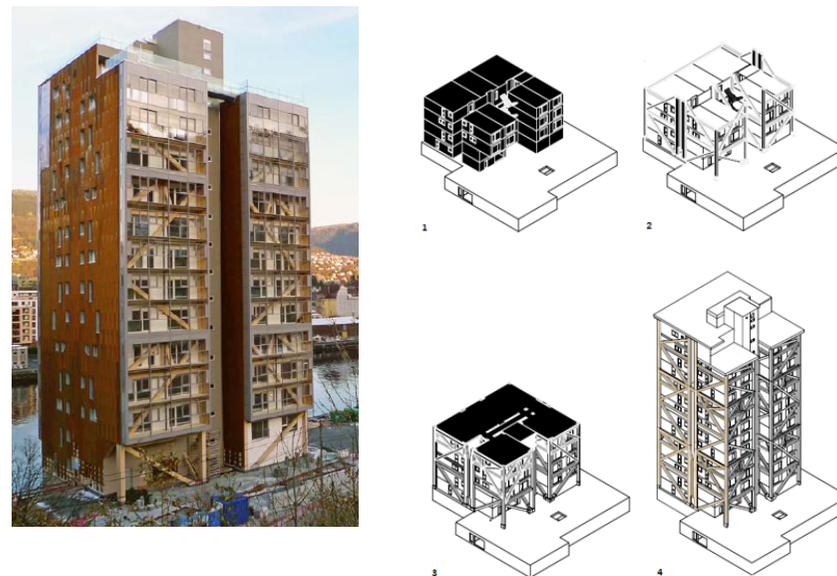


Рис. 3. Здание TREET, Норвегия

Каркасные здания могут быть безбалочными т. е. без применения балок. Опирация CLT-панелей осуществляется непосредственно на колонны. Примером здания с такой конструктивной системой является студенческое общежитие университета Британской Колумбии в Ванкувере. Оно является на сегодняшний день самым высоким деревянным зданием в мире. Каркас 53-метрового здания вместе с навесным фасадом из сборных панелей собрали за 70 дней. Конструктивно прямоугольное в плане здание стоит на бетонном основании и состоит из двух железобетонных ядер, перекрытий на основе CLT-панелей и деревянных колонн из PSL-бруса, соединенных между собой металлическими коннекторами.

Кроме безбалочных каркасные здания могут быть с продольным расположением ригелей т. е. при опирании плиты на ригель она работает, как балка. Примером такого здания может быть офисное здание Mjostarnet в Норвегии. Также каркасные здания могут быть с перекрестным расположением балок. Здесь плита работает в двух направлениях или как в терминологии железобетона опёртая по контуру. С такой конструктивной схемой спроектировано здание Port Living в Канаде.

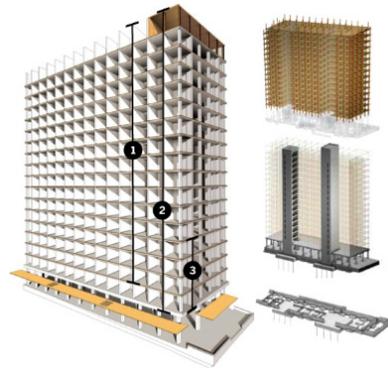


Рис. 4. Здание Brock Commons, Канада

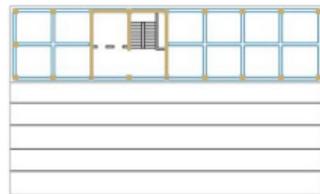
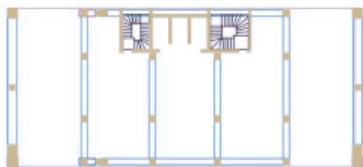


Рис. 5. Здание Mjøstårnet, Норвегия (слева) и Port Living, Канада (справа)

Нормативной классификации по этажности деревянных зданий в зарубежных странах так таковой нет, но общепринято следующее разделение по этому критерию:

- малоэтажные (1–4 этажей);
- средней этажности (5–10 этажей);
- высотные (11 и более этажей).

При анализе всех деревянных здания средней этажности можно увидеть преобладание панельной (стеновой) конструктивной системы. Все иначе если рассматривать деревянные здания выше 10 этажей. Тут главенствующее место занимает каркасная система.

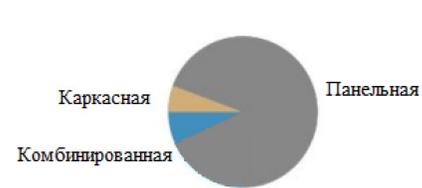


Рис. 6. Диаграмма применения конструктивных систем в зданиях средней этажности

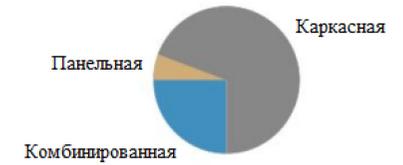


Рис. 7. Диаграмма применения конструктивных систем в высотных зданиях

При анализе несущих элементов таких объектов можно отметить, что они выполнены не полностью из древесины. Практически во всех преобладают железобетонные фундаменты, в некоторых плиты перекрытия выполнены в виде бетонно-древесного композита, а в большинстве случаев вертикальные связи и узлы стыков несущих элементов для придания жесткости всему зданию выполнены с применением стали.

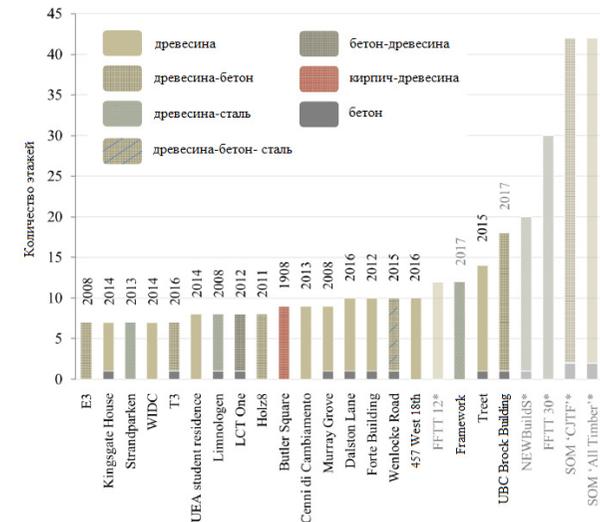


Рис. 8. Диаграмма применения строительных материалов в деревянных зданиях свыше 4 этажей

С 2014 года намечился постоянный рост высоты деревянных зданий за рубежом. Когда здания TREET пробила рубеж в 10-этажей, пошел непрерывный поток строительства высотных зданий, которые каждый год били рекорды предыдущего года становясь самыми высокими деревянными зданиями в мире. На сегодняшний день это UBC Brock Commons, но, когда строительство Hoho Tower в Вене будет завершено, оно будет иметь такой престижный статус. И как показывает статистика, такой статус не задержится в одних руках на долго.

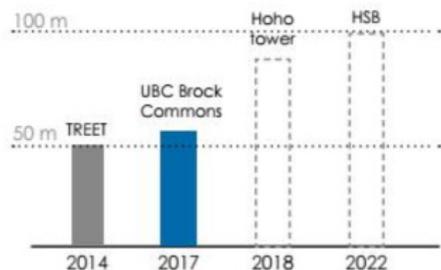


Рис. 9. Динамика роста высоты деревянных зданий

Еще несколько параметров возникает, когда мы рассматривает ядро жесткости. Ядро играет одну из самых важных ролей в общей устойчивости здания. Первое параметр – это расположение ядра в плане, а именно центральное или боковое, с одной стороны. Здесь явного преобладания того или иного местоположения не выявлено. Второй параметр – это материал из которого выполнено ядро. В большинстве случаев используется бетонное ядро. Это использование связывают с выполнениями требований противопожарных норм. Но сам факт того, что ядро жесткости из древесины, можно использовать также, как и бетонное ядро в качестве элемента для восприятия боковой нагрузки и места эвакуации людей при пожаре, снова показывает предвзятость к древесине как материала для строительства зданий свыше 4 этажей.

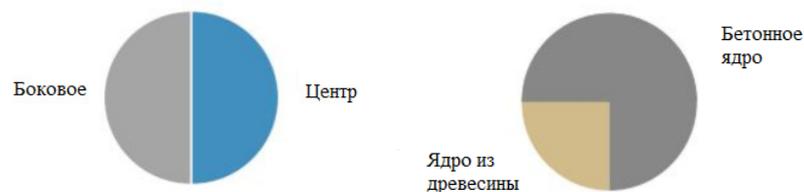


Рис. 10. Расположение и материал ядер жесткости в деревянных зданиях свыше 4 этажей

Средняя высота этажа, также, как и у бетонных зданий около 3 метров, что позволяет воплотить не только дизайнерские решение, но и обеспечить комфортное проживание людей на постоянной основе.

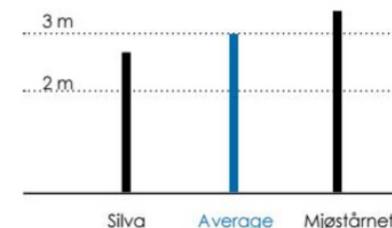


Рис. 11. Высота этажа в деревянных зданиях свыше 4 этажей

Размеры зданий обычно описываются квадратом 20x20/30 м. Только UBC Brock Commons и Silva являются более длинными зданиями. Самый длинный пролет в каркасных зданиях равен 8,5 м, в здании Framefork в Портленде.

Определено, сегодня в передовых странах мира становится актуальным многоэтажное деревянное домостроение. Большая часть таких зданий строится на основе стеновых и каркасных систем, так как они являются наиболее простыми и эффективными. Поэтому на территории нашей страны при создании материальной и технической базы для воплощения высотного деревянного домостроения рекомендуется ориентироваться именно на эти системы, как наиболее распространенные и зарекомендовавшие себя.

Литература

1. Tall wood buildings. Design, Construction and Performance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/367538161/Tall-Wood-Buildings-Design-Construction-and-Performance> (Дата обращения: 10.04.2018).
2. The development of a Tall wood building. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://issuu.com/salvadori.vittorio/docs/thesis_vittorio_salvadori_9719eae06a9d03 (Дата обращения: 10.04.2018).
3. Mass timber methods. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://issuu.com/mollytaylor/docs/masstimbermethodsreport_180309_fina (Дата обращения: 10.04.2018).
4. The case fort all wood buildings. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://issuu.com/blancarocaspana/docs/publications-tall-wood> (Дата обращения: 10.04.2018).

УДК 624.011.1

Вячеслав Васильевич Пуртов,
канд. техн. наук,
доцент
Андрей Владимирович Павлик,
ст. преподаватель
(Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)
E-mail: NSKsert@mail.ru,
APsert@mail.ru

Vyacheslav Vasilievich PurtoV,
PhD of of Engineering Sciences,
Associate Professor
Andrey Vladimirovich Pavlik,
Ph.D. doctorate candidate, senior lecturer
(Novosibirsk State University of Architec-
ture and Civil Engineering
(Sibstrin)
E-mail: NSKsert@mail.ru,
APsert@mail.ru

ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ И ДЮБЕЛЯХ, УСИЛЕННЫХ ШТАМПОВАННЫМИ ЗУБЧАТЫМИ ШАЙБАМИ

STRENGTH OF WOODEN ELEMENTS JOINTS ON METAL PLATES AND DOWEL TEETH, STRENGTHENED WITH STAMPED GEAR WASHERS

Совершенствование нагельных соединений с целью увеличения их несущей способности и надёжности в настоящее время остаётся актуальным. Особое место среди них занимают соединения с использованием нагельных пластин. Наряду с уже известными металлическими штампованными зубчатыми пластинами, гвоздевыми пластинами с приваренными цилиндрическими зубьями, алюминиевыми пластинами на шурупах (пластины «SHERPA»), металлическими пластинами с зубьями-дюбелями, авторами предложены и разработаны крепежные элементы в виде металлических пластин (накладок) и дюбелей, усиленных штампованными зубчатыми шайбами. С целью определения прочности и деформативности разработанных соединений были подготовлены и проведены их испытания при действии кратковременных нагрузок вдоль и поперёк волокон. При этом для сравнения несущей способности и деформативности были исследованы образцы соединений на металлических пластинах с зубьями-дюбелями, образцы соединений на металлических пластинах и зубчатых шайбах, а также образцы соединений на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами.

Ключевые слова: соединения на металлических пластинах, нагельные соединения, штампованная зубчатая шайба, гвоздевая пластина, прочность, деформативность.

Perfection of dowel-type fasteners with the purpose of increasing their bearing strength and reliability continues to remain actual. A special place among them is occupied by joints with dowel plates. Along with already known metal stamped nail plates, nail plates with the welded teeth, aluminum plates on screws («SHERPA» plates), metal plates with dowel teeth, the authors suggested and developed fasteners elements in the form of the metal cover plates and dowel teeth, strengthened with stamped gear washers. For the purpose of determination of strength and deformability of the developed joints short load action tests along and across the grain were prepared and carried out. Thus for the comparison of the strength and the deformability of joints on metal plates with dowel teeth, joints on metal plates and gear washers, as well as on metal plates and dowel teeth, strengthened with stamped gear washers models of connections were carried out.

Keywords: steel-to-timber connections, dowel-type fasteners, stamped gear washer, nail plate, strength, deformability.

Введение. Одним из путей развития деревянных конструкций является повышение надёжности и прочности их узловых соединений. В настоящее время уже известны такие виды нагельных пластин как отечественные, так и зарубежные металлические штампованные зубчатые пластины [1, 2 и др.], гвоздевые пластины с приваренными цилиндрическими зубьями системы КирПи-ЦНИИСК (Рекомендации по проектированию и изготовлению деревянных конструкций с соединениями на пластинах с цилиндрическими нагельями // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М.: Стройиздат; 1988. 77 с.), металлические пластины с зубьями-дюбелями [3], алюминиевые пластины на шурупах (пластины «SHERPA») [4] и др. При этом, с целью повышения несущей способности нагельных соединений, проводятся исследования совместной работы штампованных МЗП и цилиндрических нагелей (болтов [5], шурупов [6]). Особого внимания, из вышеназванного, заслуживают металлические пластины с зубьями-дюбелями. Как уже ранее было отмечено в [7], использование металлических пластин и дюбель-гвоздей, изготовленных из высокопрочной закалённой стали (рис. 1 а), позволяет значительно повысить несущую способность и снизить деформативность соединений деревянных элементов по сравнению с соединениями на гвоздях из проволоки, а также по сравнению с соединениями на штампованных металлических зубчатых пластинах (МЗП). Наряду с этим возможно усовершенствование таких соединений. Для этого было предложено на зубья дюбели металлической пластины плотно установить штампованные зубчатые шайбы (рис. 1 б) [8].

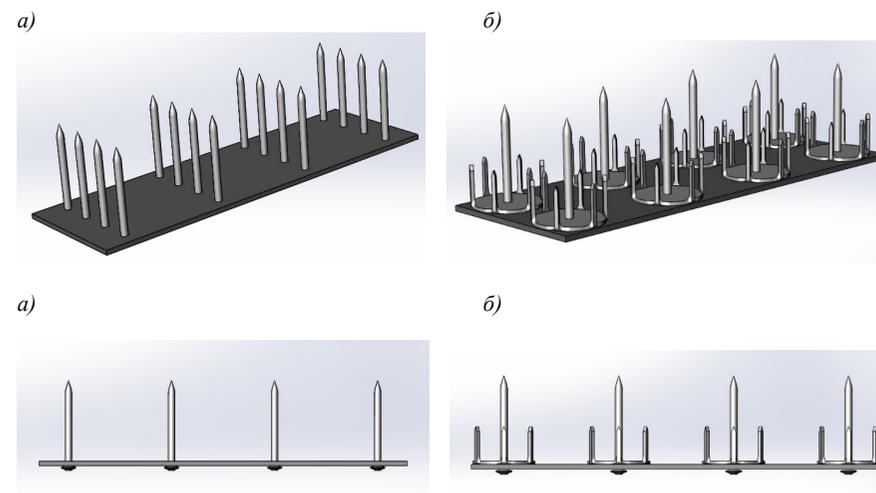


Рис. 1. Металлическая пластина с зубьями-дюбелями (а) и с зубьями-дюбелями, усиленными штампованными зубчатыми шайбами (б)

Целесообразность принятого решения подтверждают результаты исследования работы древесины на смятие в отверстиях малых диаметров [9], которые показывают необходимость увеличения рассредоточенности передачи усилий деревянному элементу, воспринимаемых от зубьев-дюбелей. Отметим, что соединения на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами у нас до настоящего времени, не исследовались. С целью определения кратковременной несущей способности и деформативности предложенных соединений были проведены испытания нескольких серий образцов, отличавшихся друг от друга углом между направлением действия усилия и направлением волокон древесины, а также видами зубчатых элементов.

Кратковременные испытания соединений на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами, были проведены на образцах, изготовленных из клееной древесины сосны. Образцы, необходимых размеров, выпиливали из клееного бруса длиной три метра.

При изготовлении образцов соединений использовали гладкие дюбели (Исполнение 1) длиной (L) 60 мм и диаметром (d) 4,5 мм (ТУ 14-4-1731-2007 Дюбели-гвозди с насаженными шайбами с цинковым покрытием для поршневых монтажных пистолетов. М., 2008. 6 с.), выполненные из конструкционной стали марки 70 (ГОСТ 14959-79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. М., 2006. 15 с.). Металлические пластины толщиной 3 мм и штампованные зубчатые шайбы толщиной ($b_{з.ш}$) 2 мм, изготавливались из листовой стали С 245 (ГОСТ 27772-2015 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. М., 2016. 18 с.) (рис. 2). Предложенные шайбы имеют по краям шесть выштампованных и загнутых в одну сторону под прямым углом к поверхности шайбы зубьев. Высота зубьев ($l_{зуб}$) 19 мм и ширина ($b_{зуб}$) 2 мм. В центре шайбы расположено отверстие под дюбель, диаметром ($d_{отв}$) 4,4 мм, что обеспечивает её плотную посадку на дюбель диаметром (d) 4,5 мм.

Параметры зубчатой шайбы определяли, основываясь на результатах исследований предлагаемых соединений поляризационного-оптического методом [10], результатах аналитического расчёта влияния толщины шайбы (и связанным с ней диаметром зуба) на несущую способность (для толщин в интервале $1,5\text{ мм} \leq \delta_{з.ш} \leq 2,5\text{ мм}$), учитывая возможность их изготовления, а также принимая в расчёт требования по расстановке нагелей (СП 64.13330.2017: Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80., М.: Минстрой России, 2017. – 97 с.). При этом оптимальную длину зуба шайбы определяли также аналитическим способом, из условия достижения максимальной несущей способности при образовании двух пластических шарниров (в основании и по длине зуба шайбы). Учитывая все вышперечисленные требования, зубчатые шайбы были изготовлены диаметром $d_{з.ш} = 38\text{ мм}$.

С целью изучения несущей способности и деформативности соединений на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами, были изготовлены и испытаны на воздействие кратковременной статической нагрузки об-

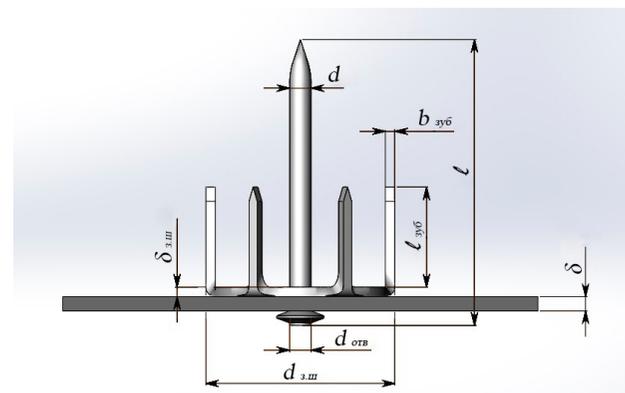


Рис. 2. Фрагмент металлической зубчатой пластины с дюбелем и штампованной зубчатой шайбой и патент на неё: $\delta_{з.ш}$ – толщина шайбы; $b_{зуб}$ – ширина зуба; δ – толщина металлической пластины; $d_{з.ш}$ – диаметр зубчатой шайбы; $d_{отв}$ – диаметр отверстия под дюбель; d – диаметр дюбеля; l – полная длина дюбеля; $l_{зуб}$ – высота зуба шайбы с учётом заострённой части

разцы односрезных соединений клееных деревянных элементов серий МДШ-0 (металлическая пластина с дюбелем и зубчатой шайбой – угол сопряжения 0°) и МДШ-90 (то же, с углом сопряжения 90°) (рис. 3, в). Для сравнения были испытаны аналогичные образцы, выполненные на дюбелях без зубчатых шайб (серии МД-0 и МД-90) (рис. 3, а). Всего было испытано по четыре образца в каждой серии.

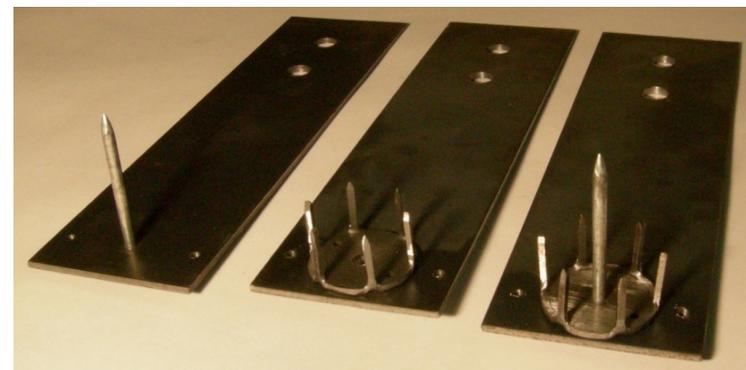


Рис. 3. Зубчатые пластины для проведения испытаний: а – металлическая пластина с дюбелем (серии МД); б – металлическая пластина со штампованной зубчатой шайбой (серии МШ); в – металлическая пластина с дюбелем, усиленным штампованной зубчатой шайбой (серии МДШ)

Для изучения влияния штампованной зубчатой шайбы на несущую способность исследуемых соединений были дополнительно изготовлены образцы соединений на металлических пластинах и зубчатых шайбах (серии МШ-0 и МШ-90) (рис. 3, б).

Назначение размеров образцов производили с учётом действующих норм по расстановке нагелей (рис. 4, а, б). В результате образцы серий МД-0, МШ-0 и МДШ-0 имели размеры $b=110$ мм, $h=110$ мм, $l=250$ мм. Размеры образцов с углом сопряжения 90° (серий МД-90, МШ-90 и МДШ-90) были приняты $b=110$ мм, $h=110$ мм, $l=120$ мм.

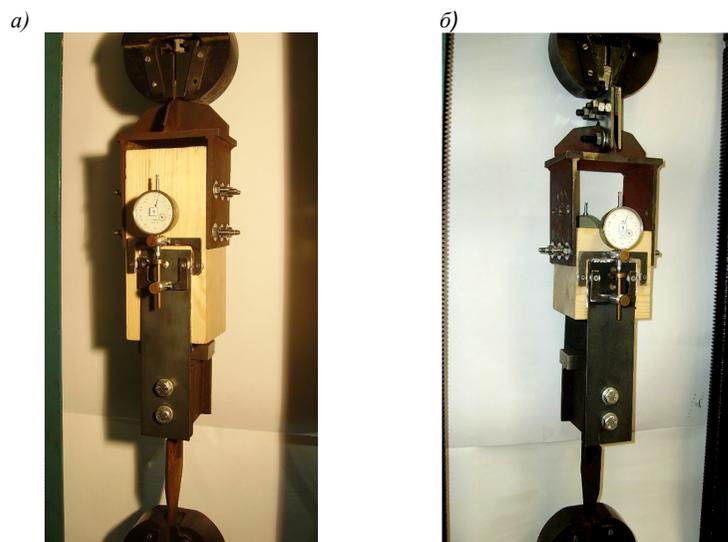


Рис. 4. Типовые образцы соединений для испытаний вдоль (а) и поперёк волокон (б)

Сборка зубчатых пластин производилась при помощи ручного инструмента. Дюбель, с предварительно снятой с него оцинкованной направляющей шайбой, забивали в предварительно просверленное в пластине отверстие (серия МД-0 и МД-90). Образцы серий МДШ-0 и МДШ-90 изготавливались в следующей последовательности. Зубчатую шайбу фиксировали на специальной трубке с толстой стенкой. Далее отверстие шайбы совмещали с отверстием, предварительно просверленным в пластине, и забивали дюбель. В образцах серий МШ-0 и МШ-90 зубчатая шайба крепилась к пластине при помощи заклёпки и контактной сварки. Диаметр отверстий в пластине и отверстий в зубчатой шайбе для всех серий был на 0,1 мм меньше диаметра дюбеля. Полученные таким образом зубчатые пластины запрессовывались при помощи направляющих в деревянные элементы на разрывной машине «Р-5».

Усилие запрессовки для вышеуказанных серий составило: МД – 1,6 кН; МШ – 7,0 кН; МДШ – 7,8 кН. С целью исключения влияния сил трения на работу испытываемых образцов во время проведения испытаний, между пластинами (зубчатыми шайбами) и деревянными элементами прокладывали три слоя алюминиевой фольги.

Прочность древесины клеодошчатых образцов соединений при сжатии вдоль волокон, в среднем, при влажности 7-8 %, равнялась $R_{\text{ч}}^{\text{сп}} = 53,5$ МПа (при влажности 12 % она составила $R_{\text{ч}}^{\text{сп}} = 44,9$ МПа). Полученная при испытаниях характеристика близка к указанной в действующем нормативе (СП 64.13330.2017: Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80., М.: Минстрой России, 2017.– 97 с.) $R_{\text{ч}}^{\text{сп}} = 44$ МПа при влажности древесины $W = 12\%$.

При проведении испытаний для серий МД-0, МД-90, МШ-90 на разрывной машине устанавливали шкалу в 10 кН (цена деления 0,02 кН). Для серий МДШ-0, МДШ-90 и МШ-0 устанавливали шкалу в 25 кН (цена деления 0,05 кН). Величина ступени возрастания усилия для каждой серии была определена по результатам пробных испытаний и принята равной 0,08–0,1 от разрушающего усилия. Скорость перемещения захвата устанавливали равной 4,0 мм/мин, что соответствовало скорости, в среднем, равной 4 кН/мин. Испытание образцов проводилось на растяжение при непрерывном нагружении (рис. 5). Часть образцов, в соответствии с (Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат; 1981. 40 с.), была испытана с периодической разгрузкой.

Образцы всех серий (см. рис. 5) состояли из деревянного элемента с запрессованными в него двумя зубчатыми пластинами, что позволяло одновременно испытывать два односрезных соединения. В соответствии с рекомендациями по испытанию соединений деревянных конструкций (Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат; 1981. 40 с.) металлические части креплений, не относящиеся к испытываемому соединению (тяж с призматической гайкой, сварные вилкообразный держатель и квадратная призма), были дополнительно усилены при помощи «цементации» (насыщения углеродом) и последующей их закалки. Деформации сдвига при испытании образцов измеряли с помощью, установленных на них, индикаторов часового типа «ИЧ-10» с ценой деления 0,01 мм.

В ходе испытания проводилось наблюдение за работой опытных образцов под нагрузкой.

На рис. 6 и 7 показаны результаты кратковременных испытаний образцов односрезных соединений серий МД, МШ и МДШ.

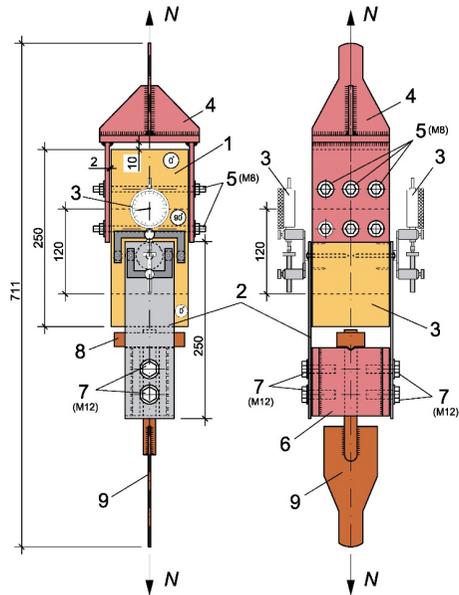


Рис. 5. Схема испытания образцов с металлическими накладками серий МД, МШ и МДШ вдоль и поперёк волокон:

1 – цельнодеревянные элементы; 2 – металлические пластины с зубьями (серии МД-90, МШ-90, МДШ-90, МД-0, МШ-0, МДШ-0); 3 – индикаторы часового типа ИЧ-10; 4 – сварной вилкообразный держатель, закреплённый в неподвижном захвате; 5 – стальные шпильки; 6 – сварная квадратная призма с треугольным вырезом и четырьмя торцовыми отверстиями для болтов; 7 – высокопрочные болты; 8 – гайка, снабжённая призмой; 9 – тяж, закреплённый в подвижном захвате испытательной машины

Результаты. Согласно (Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат; 1981. 40 с.) за момент разрушения было принято «... резкое падения усилия». В соответствии с этими же указаниями, значения несущей способности определялись по верхней границе области упругой работы соединений под нагрузкой ($N_{1-н}$). Для этого на графиках разности полных деформаций испытанных серий образцов в зависимости от усилия в начальных их участках проводили средние прямые по точкам, и ордината последней точки в каждом случае давала величину усилия $N_{1-н}$ (верхнюю границу области упругой работы соединений).

Кратковременная несущая способность образцов серии МД-0 (металлическая пластина с дюбелем – угол сопряжения 0°), при влажности 8 % составила от 4,00 кН до 5,00 кН (средняя 4,75 кН). Приведа прочность к стандартной влажности 12 % и к одному условному срезу дюбеля получим несущую способность от 1,68 кН до 2,10 кН. Теоретическая временная несущая

способность одного дюбеля для образцов этой серии равняется $P_{теор} = 2,14$ кН. Расхождение между теоретическим значением предельной нагрузки и экспериментально определённым средним (2,00 кН) составляет 6,5 %.

Образцы серии МШ-0 (металлическая пластина с зубчатой шайбой – угол сопряжения 0°) при влажности 8 % разрушились при нагрузке от 5,00 кН до 7,00 кН (средняя 5,75 кН). Приведа прочность к стандартной влажности 12 % и к одному условному срезу зубчатой шайбы получим несущую способность равную 2,42 кН. Отличие экспериментальной величины от вычисленной теоретической ($P_{теор} = 2,22$ кН) составляет 9,0 %.

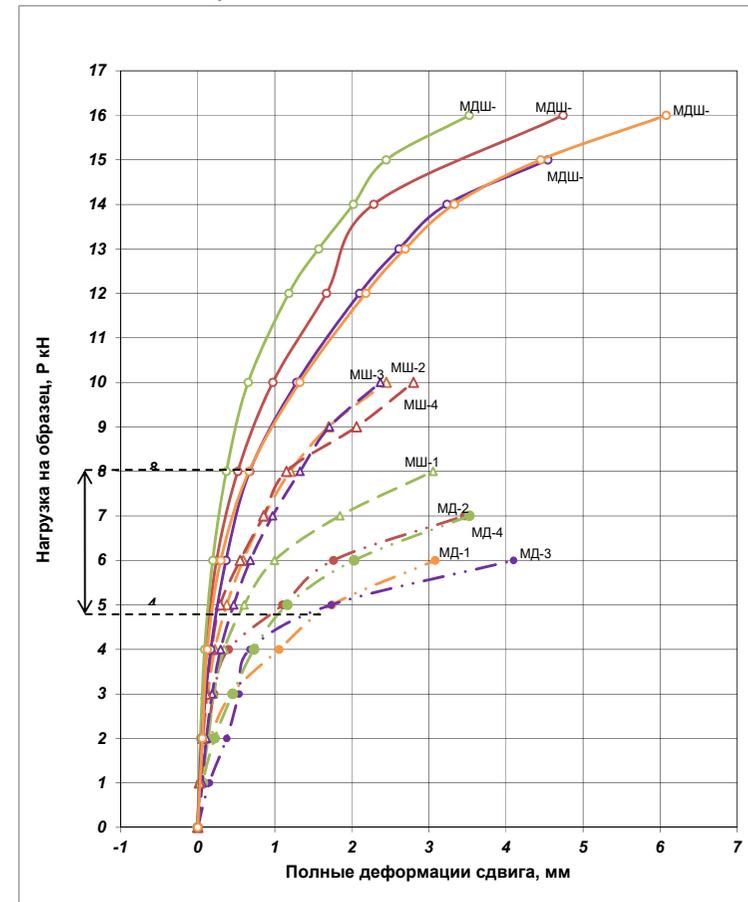


Рис. 6. Полные деформации образцов серий МД-0, МШ-0 и МДШ-0

Разрушение образцов серии МДШ-0 (металлическая пластина с дюбелем и зубчатой шайбой – угол сопряжения 0°) носило вязкий характер и сопровождалось образованием одного пластического шарнира в дюбеле и двух шарниров в зубьях шайбы. Временная несущая способность при влажности 8 % составила от 6,00 кН до 10,00 кН (средняя 8,00 кН). Прочность, приведённая к стандартной влажности 12 % и к одному условному срезу дюбеля, усиленного зубчатой шайбой, составила в среднем 3,36 кН. Разница между теоретической величиной ($P_{теор} = 3,66$ кН) и экспериментальной оказалась равной 8,2 %.

Для серий образцов испытываемых поперёк волокон были получены следующие показатели. Разрушающая нагрузка для образцов серии МД-90 (металлическая пластина с дюбелем – угол сопряжения 90°) при влажности 8 % составила от 3,00 кН до 4,00 кН (средняя 3,50 кН). Прочность, приведённая к стандартной влажности 12 % и отнесённая к одному условному срезу дюбеля составила от 1,29 до 1,72 кН. Примерно в 10 % случаев наблюдалось хрупкое разрушение соединения вследствие отрыва головки дюбеля. Теоретически вычисленные значения разрушающих нагрузок ($P_{теор} = 1,60$ кН) и в этом случае близки к экспериментальным (1,51 кН). Расхождение не превышает 5,6 %. В образцах серии МШ-90 (металлическая пластина с зубчатой шайбой – угол сопряжения 90°) временная несущая способность при влажности 8 % составила от 3,50 кН до 5,00 кН (средняя 4,13 кН). Средняя несущая способность на один условный срез зубчатой шайбы, приведённая к стандартной влажности 12 %, составила 1,51 до 2,15 кН. Разрушение образцов сопровождалось смятием древесины в нагельных гнездах и изгибом зубьев шайбы с образованием двух шарниров пластичности. Теоретически вычисленное значение временной несущей способности зубчатой шайбы для образцов этой серии составило $P_{теор} = 1,9$ кН. Отличие полученной величины от экспериментально определённого среднего (1,77 кН) составляет 6,8 %.

Характер разрушения образцов серии МДШ-90 (металлическая пластина с дюбелем и зубчатой шайбой – угол сопряжения 90°) был аналогичен образцам, испытанным вдоль волокон. При этом нагрузка при влажности 8 % составила от 6,00 кН до 8,00 кН (средняя 6,75 кН). Прочность, приведённая к стандартной влажности 12 % на один условный срез дюбеля, усиленного зубчатой шайбой, в среднем, составила 2,9 кН. Теоретическая временная несущая способность в этом случае ($P_{теор} = 3,09$ кН) расходится с экспериментальными значениями на 6,1 %.

Во всех рассмотренных случаях (кроме серии МШ-0) экспериментальные значения несущей способности образцов оказались несколько ниже теоретических результатов, вычисленных по формулам. Разница находится в пределах от 5,6% до 9,0%, что показывает их хорошую сходимость.

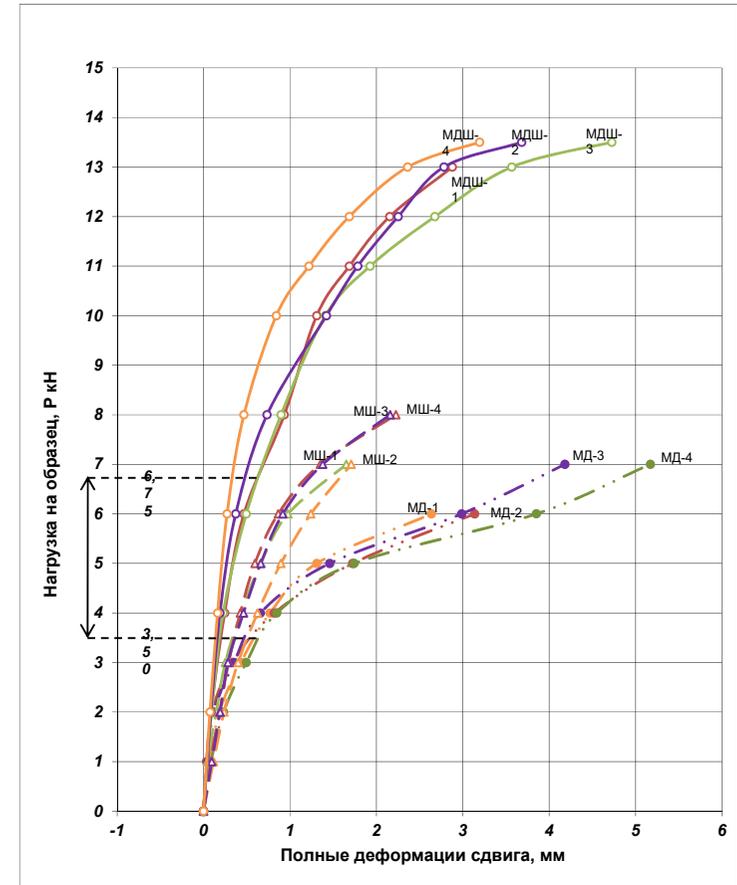


Рис. 7. Полные деформации образцов серий МД-90, МШ-90 и МДШ-90

Образцы всех серий разрушались, в основном, вязко. Достижение предела прочности сопровождалось смятием древесины нагельного гнезда, смятием в отверстии стальной пластины и штампованной зубчатой шайбы, изгибом дюбеля и зубьев шайбы.

Обсуждение. На основании испытаний установлено, что кратковременная несущая способность дюбелей поперёк волокон в образцах серии МД-90 существенно меньше ($\approx 25\%$), чем в соединениях вдоль волокон (серия МД-0). Для образцов серии МШ-90 кратковременная несущая способность оказалась меньше на $\approx 27\%$, чем в образцах серии МШ-0. В свою очередь кратковременная несущая способность образцов серии МДШ-90 получилась меньше несущей способности образцов серии МДШ-0 на $\approx 14\%$.

Анализ результатов эксперимента показал, что дюбели, усиленные зубчатыми шайбами обладают несущей способностью, в среднем, большей на $\approx 68\%$ (вдоль волокон) и $\approx 92\%$ (поперёк волокон), чем дюбели без таких шайб.

Наличие зубчатой шайбы снижает деформативность соединений примерно на 22% вдоль волокон и примерно на 58% поперёк волокон. Это можно объяснить тем, что действующие в соединении усилия воспринимаются большим числом зубьев и рассредоточиваются на большую рабочую поверхность деревянных элементов. Постановка зубчатой шайбы на зубья-дюбели снижает деформации в основаниях зубьев в интервале упругой работы древесины. За счёт этого повышается несущая способность и увеличивается вязкость соединения в сравнении с аналогичными соединениями на дюбель.

Заключение. Результаты проведённых экспериментов отчётливо показали достоинства предлагаемой металлической пластины с зубьями-дюбелями, усиленными штампованными зубчатыми шайбами. Наличие зубчатой шайбы снижает деформативность соединений вдоль и поперёк волокон. Это можно объяснить тем, что действующие в соединении усилия воспринимаются большим числом зубьев и рассредоточиваются на большую рабочую поверхность деревянных элементов. Постановка зубчатой шайбы на зубья-дюбели снижает деформации в основаниях зубьев в интервале упругой работы древесины. За счёт этого повышается несущая способность и увеличивается вязкость соединения в сравнении с аналогичными соединениями на дюбель-гвоздях.

Исследованные соединения можно с успехом использовать в цельнодеревянных и клеодощатых фермах средних пролётов, а также в пространственных совмещённых фермах покрытий [11]. При этом, в первую очередь, их целесообразно применять при конструировании опорных узлов конструкций, способных воспринимать значительные усилия растяжения.

Литература

1. Пат.127775 Российская Федерация, МПК Е 04 В 1/49. Крепёжный элемент для соединения деревянных деталей / В.Г. Котлов, Б.Э. Шарынин, С.С. Муратова; заявитель и патентообладатель Поволжский ГТУ. No. 2012152107; заявл. 04.12.2012; опубл. 10.05.2013, Бюл. No. 13.
2. ANSI/TPI 1-2014: National design standard for metal plate connected wood truss construction. – Truss Plate Institute, 2014. 112 p.
3. Пуртов В.В. Легкие деревянные стропильные фермы с соединениями на стальных пластинах и дюбелях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск. 1987. 22 с.
4. Manfred Augustin, Georg Flatscher. 2010. Nachweisführung für SHERPA-Verbindungen auf Basis des SHERPA-Handbuchs, Internationales Holzbau-Forum 10, TU Graz, Seiten 1-16.
5. Blass Hans J., Schmid Martin, Litze Harald, Wagner Barbara. Nail plate reinforced joints with dowel-type fasteners. World Conference on Timber Engineering 2000. Whistler, British Columbia, Canada. Proceedings pp. 8.6.4-1 – 8.6.4-8.

6. Сюй Юнь Повышение несущей способности соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках с использованием металлической зубчатой пластины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург. 2015. 27 с.

7. Дмитриев П.А. Экспериментальные исследования соединений элементов деревянных конструкций на металлических и пластмассовых нагелях и теория их расчёта с учётом упруго-вязких и пластических деформаций: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Новосибирск: НИСИ; 1975. – 67 с.

8. Пат. 40772 Российская Федерация, МПК F 16 В 13/00. Крепёжная деталь для соединения деревянных элементов (варианты) / П.А. Дмитриев, В.В. Пуртов и А.В. Павлик; заявитель и патентообладатель НГАСУ. No. 2004114426; заявл. 14.05.2004; опубл. 27.09.2004, Бюл. No. 27

9. Пуртов В.В., Павлик А.В. Работа древесины на смятие в отверстиях малых диаметров // Изв. вузов. Строительство. 2005. №5. С 106-110.

10. Албаут Г.Н., Пуртов В.В., Павлик А.В., Табанюхова М.В., Михеева О.А. Исследование соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами поляризационно-оптическим методом при действии кратковременных нагрузок // Изв. вузов. Строительство. 2007. №7. С. 116-121.

11. Инжутов И.С., Дмитриев П.А., Шапошников В.Н. Пространственные совмещённые фермы покрытий. Пространственные конструкции в Красноярском крае, Красноярск: КПИ, 1985, 164-168

УДК 624.011.14:624.078.41:624.046

Егор Владимирович Данилов

ст. преподаватель

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

E-mail: sleepme@mail.ru

Egor Vladimirovich Danilov

senior lecturer

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: sleepme@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДЕРЕВЯННОЙ ФЕРМЫ ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО КЛЕЕНОГО БРУСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГТЕВЫХ ШАЙБ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STRENGTH OF WOODEN FARM UNIDIRECTIONAL LAMINATED BEAM USING KOSTEVYCH WASHERS

В работе рассматриваются экспериментальные исследования поведения работы конструкции фермы из LVL с использованием когтевых шайб Bulldog под воздействием сосредоточенных усилий, направленных в узлы конструкции. Получен коэффициент надежности конструкции, определены прогибы и деформации элементов конструкции.

Ключевые слова: ферма, испытания, когтевая шайба, LVL.

The paper deals with experimental studies of the behavior of the farm structure of LVL using claw washers Bulldog under the influence of concentrated efforts directed to the nodes of the structure. The coefficient of structural reliability is obtained, deflections and deformations of structural elements are determined.

Keywords: farm, testing kogteva washer, LVL.



Рис. 3. Проведение испытаний конструкции фермы

Анализ перемещений в узлах соответствует упругому характеру работы соединений до уровня нагрузки 3,78 кН/м фермы, при повышении нагрузки до 8,19 кН/м заметно изменение угла наклона кривой нагрузка-смещение, которая характеризуется сравнительно пропорциональным изменением смещения от уровня нагрузки. Перераспределения в элементах фермы начинают возникать при уровне нагрузок 6,68 кН/м, что видно по рис. 5, при соответствующем перемещении узлов конструкции в среднем на 9,5 мм. При достижении расчетного усилия $P_p = 6,68$ кН/м прогиб фермы составил 1/484 от пролета, при допустимом прогибе 1/300 [13].

Начало интенсивных деформаций возникает при уровне нагрузки РI-II 9,67 кН/м. Данная нагрузка определяет границу области сравнительно небольших деформаций и области интенсивного развития деформаций. Характерное пластическое разрушение замечается при загрузении на 12,68 кН/м. На ферме отмечались значительные деформации, слышен характерный треск разрывающихся волокон материала LVL, заметен рост деформаций, однако разрушений узлов замечено не было. При увеличении нагрузки до 15,48 кН/м, в течении 12 минут произошло разрушение в нижнем поясе фермы что вызвало выход из строя всей правой части конструкции. Нижний пояс фермы был разрушен от воздействия изгибающего момента в узле (узел установки прогибомера П8, рис. 4, а). После перераспределения усилий возникла трещина в элементе верхнего пояса и за счет передачи усилий под углом от крайнего раскоса она раскрылась, расщепив при этом элемент верхнего пояса пополам (узел установки П7, рис. 4, б).

Распределение нагрузок в стержнях фермы на симметричной части конструкции в зависимости от уровня нагружения узлов приведено на рис. 5. Упругие деформации наблюдались во всем диапазоне нагрузок. Градиент продольных деформаций элементов нижнего пояса превышал поперечные деформации в 3,9 раза. В ходе испытаний выхода из строя измерительного оборудования замечено не было.

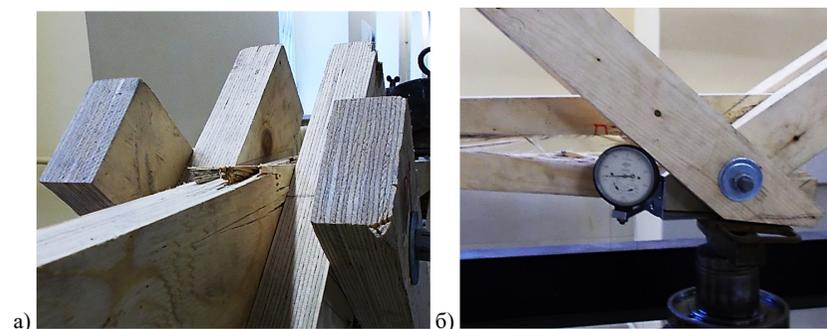


Рис. 4. Узлы разрушенной конструкции фермы: а) нижний пояс (место установки П8) б) верхний пояс (место установки П7)

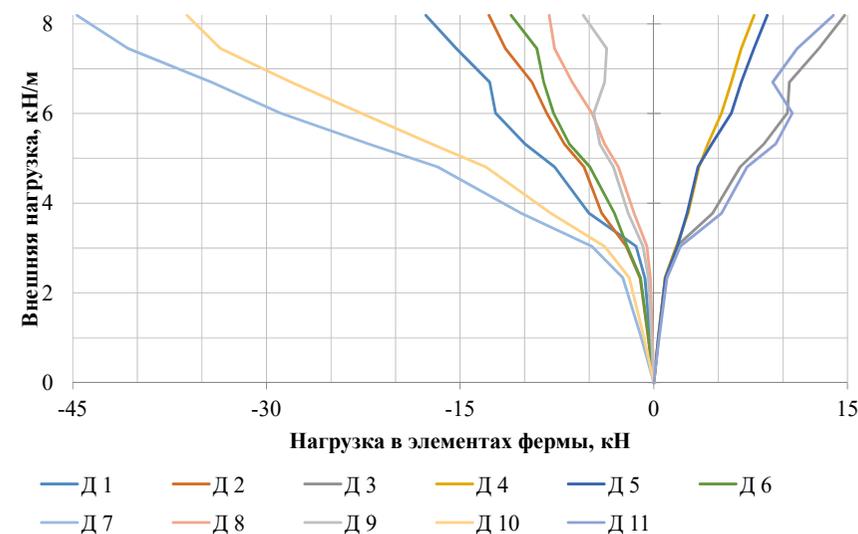


Рис. 5. Распределение нагрузок в стержнях фермы в зависимости от уровня внешней нагрузки

Разрушение узлов характерно для хрупкого типа разрушения. Время приведенного действия нагрузки t может быть определено:

$$t = 0,02t_1 + t_2 = 0,02 \cdot 21900 + 720 = 1158 \text{ сек,}$$

где t_1 – время доведения нагрузки до разрушающей величины, t_2 – время, в течении которого конструкция выдерживала разрушающую нагрузку.

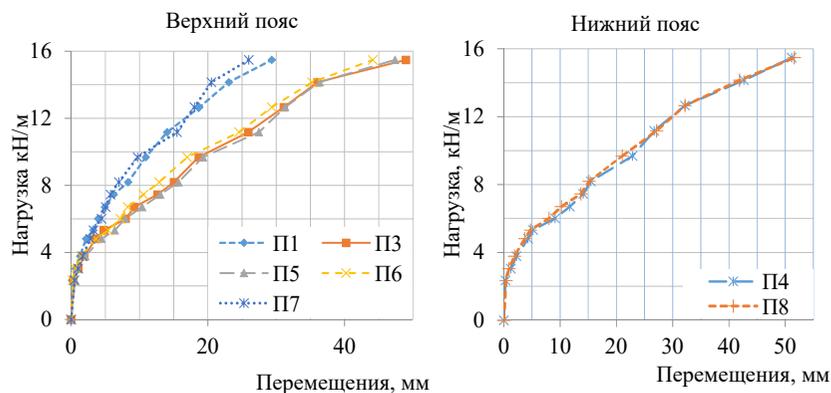


Рис. 6. Изменение перемещений в узлах фермы в зависимости от уровня внешней нагрузки

Коэффициент безопасности для хрупкого разрушения K_{xp} для оценки несущей способности испытанной конструкции может быть вычислен по формуле:

$$K_{xp} = 1,25 \cdot (1,88 - 0,106 \lg t) = 1,25 \cdot (1,88 - 0,106 \lg (1158)) = 2,302.$$

По результатам испытаний отношение уровня разрушающей нагрузки I_t к расчетной P_n составило:

$$I_t / P_n = 15,48 / 6,68 = 2,317,$$

что больше вычисленного коэффициента безопасности ($2,317 > 2,302$). Для конструкций с вдавливаемыми элементами соединений, таких как фермы с когтевыми шайбами, рекомендуется выполнять проверку на выполнение условий [16]:

$$P_{t-n} / P_n = 9,67 / 6,68 = 1,448 > 1,2.$$

Так как конструкция выдерживала разрушающую нагрузку I_t в течении времени t , то длительная несущая способность I_m для расчетного срока эксплуатации 50 лет может быть найдена [16]:

$$I_t = \frac{I_t}{B - C \lg t} = \frac{15,48}{2,1 - 0,12 \lg 1158} = 8,94 \text{ кН/м};$$

где B, C – постоянные коэффициенты для определения длительной прочности, согласно [16]. Величина длительной нагрузки выше расчетной в 1,33 раза.

Таким образом, конструкция фермы обладает необходимой несущей способностью.

Выводы

1. Методика экспериментального исследования конструкции фермы учитывает реальные условия работы конструкции при действии вертикальных нагрузок.

2. Экспериментальное исследование ферм из LVL с когтевыми шайбами подтвердило ее высокую прочность. Разрушение экспериментальной модели произошло от раскалывания узлов при нагрузках, в 2,317 раза превышающих расчетные, что больше необходимого коэффициента безопасности ($K_{xp} = 2,304$).

3. Экспериментальное исследование ферм из LVL с когтевыми шайбами подтвердило ее достаточную жесткость. При достижении расчетного усилия $P_n = 6,68$ кН/м прогиб фермы составил 1/484 от пролета.

4. В ходе эксперимента была определена величина длительной нагрузки, которая оказалась выше расчетной в 1,33 раза.

5. Перераспределения в элементах фермы начинают возникать при уровне нагрузок 6,68 кН/м, при перемещении узлов конструкции в среднем на 9,5 мм.

Литература

1. Данилов, Е. В., Черных А. Г. Методы исследования соединений деревянных конструкций на когтевых шпонках [Эл. ресурс] / Современные проблемы науки и образования // – 2013 г., – № 2. (0,93 п.л. / 0,47 п.л.)
2. Стандарт Ассоциации деревянного домостроения СтАДД – 3.2. – 2011 «Деревянные конструкции. Соединения деревянных элементов с использованием зубчатых пластин. СПб, 2012 г., 59 стр.
3. Леннов В. Г. Индустриальные деревянные фермы на когтевых шайбах, дис. ... канд. техн. наук, Горький, 1941 г., 289 стр.
4. Rimantas C., Slip of "Bulldog"-type toothed-plate connectors in steel-timber joints of open-web girders. Journal of civil engineering and management. Vilnius, 2004.
5. Frech, P. and Kolb, H. Test of Bulldog-type connectors. Test results H 30471 (Prufung von Bulldog-Holzverbindern PrUfzeugnis H 30471). Otto-Graf Institute of Stuttgart University, 1971 (in German)
6. Blass, J. H.; Ehlbeck, J. and Schlager, M. Characteristic strength of toothed-plate connector joints. Holz als Roh und Werkstoff, 51, 1993, p. 395-399.
7. Blass, H. J.; Aune, P.; Choo, B. S.; Gortlacher, R.; Griffiths, D. R.; Hilson, B. O.; Racher, P. and Steck, G. Timber Engineering. Netherlands: Centrum Hout, 1995.
8. Eurocode 5. Design of timber structures. Part: General rules and rules for buildings. ENV 1995-1-1. Brussels: CEN, 1993. 133 p.

9. Hirashima, Y. (1990). Lateral resistance of timber connector joints parallel to grain direction. In: Proceedings of the International Engineering Conference, Vol 1: 254-261, Tokyo.

10. C J Mettem A V Page G Davis, Validatory tests and proposed design formulae for the load-carrying capacity of toothed-plate connected joints. International council for building research studies and documentation working commission W18 – timber structures. TRADA Technology Limited United Kingdom 1993

11. Blass, H.J. and Schlager, M. Trial calculations for determination of the load-carrying capacity of joints with Bulldog connectors. CEN/TC 124/WG4 N23, April 1993

12. Rimantas C., Slip of "Bulldog"-type toothed-plate connectors in steel-timber joints of open-web girders. Journal of civil engineering and management. Vilnius, 2004.

13. СП 64.13330-2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. Стройиздат, 2011 г., 89 стр.

14. Патент на полезную модель №146232. «Устройство для запрессовки когтевых шайб», заявка №2014123970, приоритет полезной модели 10 июня 2014 г.

15. Лабудин Б.В., Гурьев А. Ю., Каратеев Л. П., Мамедов Ш. М., Металлодеревянные фермы: Учеб. Пособие // САФУ-СПбГАСУ. – СПб: Свое издательство 2015.-206 с.

16. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций Текст. / ЦНИИСК. М.: Стройиздат, 1976. – 28 стр.

УДК 624.04:694

Павел Сергеевич Коваль

ст. преподаватель

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

E-mail: pkoval@lan.spbgasu.ru

Pavel Sergeevich Koval

senior teacher

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: pkoval@lan.spbgasu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ДЕРЕВОПЛИТ

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF THE STRESS- LAMINATED TIMBER DECK

В статье приводятся предпосылки, методика и основные результаты экспериментально-теоретических исследований предварительно напряженных деревоплит (ПНД). Рассматриваются основные недостатки существующих методов расчета ПНД, способы задания предварительного натяжения арматурных стержней и другие конструктивные факторы, влияющие на работу конструкции. Исходя из этого, обозначена необходимость в уточнении их напряженно-деформированного состояния (НДС). С этой целью был запланирован и произведен многофакторный эксперимент. Впервые в испытаниях строительных конструкций применялся метод определения прогибов при помощи лазерного сканирования. Была получена математическая модель, описывающая максимальные прогибы ПНД в зависимости от исходных значений переменных факторов.

Ключевые слова: предварительно напряженная деревоплита, изгиб, сосредоточенная нагрузка, многофакторный эксперимент, прогиб, лазерное сканирование

The article considers the prerequisites, the method and the main results of experimental and theoretical investigations of stress-laminated timber decks (SLTD). The main disadvantages

of existed hand-calculation methods of SLTD, the ways for post-tensioning of steel rods and other structural aspects which influent on a plate bending are given. From this the necessary of correction its stress-strain state discovered. The complex experiment planning and testing has been done for this reason. First time in the structural testing the method of determination of deflections by laser scanning is using. The mathematical model which describes the maximum deflections of SLTD in depends of beginning values of variable factors is obtained.

Keywords: stress-laminated timber deck, bending, concentrated force, complex experiment, deflection, laser scanning

Согласно принятой практике [5, 6, 7, 8] при проектировании предварительно-напряженные деревоплиты (далее ПНД) рассматриваются, как сплошные ортотропные плиты, шарнирно опертые по краям и нагружаемые поперечными силами. При этом их физико-механические характеристики принимаются приведенными с учетом повышенной жесткости плиты за счет обжатия. Такой подход сравнительно прост и результативен, однако обладает рядом недостатков, таких как недостаточная обоснованность выбираемой эффективной ширины фиктивной балки при выполнении инженерных расчетов вручную [1, 5], невозможность учесть податливость связей сдвига между элементами плиты при расчетах как вручную, так и при помощи ЭВМ, трудность выполнения расчетов по деформированной схеме, а также весьма условное соответствие получаемых деформаций реальным. С целью уточнения напряженно-деформированного состояния ПНД и ее расчетной модели были запланированы и произведены в Механической лаборатории СПбГАСУ соответствующие экспериментальные исследования. Объектом исследования являлась предварительно-напряженная деревоплита, шарнирно опертая по двум сторонам и нагруженная сосредоточенными силами в поперечном направлении. Предмет исследования – взаимосвязь между различными конструктивными факторами и НДС плиты.

Были поставлены и решены следующие задачи:

- 1) выявить основные конструктивные факторы, влияющие на НДС ПНД;
- 2) определить рациональный способ создания предварительного напряжения;
- 3) разработать испытательную установку;
- 4) запланировать и произвести многофакторный эксперимент;
- 5) произвести анализ экспериментальных данных, а также выполнить проверку адекватности полученной математической модели;
- 6) разработать рекомендации по уточнению расчетной модели ПНД.

Напряженно-деформированное состояние ПНД в значительной мере зависит от уровня давления на соприкасающихся поверхностях элементов плиты. Ожидаемо это значение является функцией от следующих трех параметров [2, 3]:

- ширины плиты b , м;
- шага постановки предварительно напряженных стержней S , м;
- усилия предварительного напряжения стержней F , Н.

Для установления степени влияния каждого из этих параметров на НДС конструкции был произведен многофакторный эксперимент по плану Бокса В₃ [4] (см. далее).

Растягивающие усилия предварительно напряженным стержням, создающим силы трения на соприкасающихся друг с другом боковых поверхностях составных элементов ПНД, могут придаваться двумя основными способами:

1) непосредственным растяжением с применением специального оборудования (траверсы и гидравлического домкрата) с последующей анкерровкой путем навинчивания гайки;

2) затяжкой гаек с контролем крутящего момента – при помощи стопорных гайковертов или динамометрических ключей.

Второй способ аналогичен постановке болтов фланцевых соединений в стальных конструкциях. В лабораторных условиях его основными преимуществами являются:

- меньшая стоимость оборудования и подготовительных работ;
- отсутствие необходимости в дополнительном обучении персонала;
- относительная легкость производства работ;
- меньшая потребность в выделяемых площадях и энергетических мощностях;

– отсутствие необходимости в дополнительных проектных работах по разработке траверсы;

– меньшие достигаемые усилия растяжения в стержнях (рационально с точки зрения экономии ресурсов, так как для испытательных образцов не требуются усилия, которые способны развивать гидравлическое оборудование).

Таким образом, было принято решение придавать растягивающие усилия предварительно напряженным стержням затяжкой гаек вручную с контролем крутящего момента при помощи динамометрического ключа Tohnichi. При этом опытным путем была установлена зависимость растягивающего усилия в стержне от крутящего момента по индикатору ключа (рис. 1).

Экспериментальная установка разрабатывалась с учетом следующих факторов:

- использование в качестве материала для изготовления испытательных образцов пиломатериалов стандартных сечений и длин;
- применение динамометрического ключа в качестве инструмента создания предварительного напряжения в конструкции;
- ограниченность пространства в лаборатории (в том числе для складирования образцов);
- нагружение сосредоточенной силой;

Так как исследование было направлено в первую очередь на изучение взаимосвязей в системе и установление общих закономерностей, то было принято решение в целях экономии в качестве предварительно напрягаемых стержней использовать резьбовую шпильку М12 по DIN 975 длиной 2,0 м с классом прочности 8.8. Соответственно, диаметр по резьбе составил 12,0 мм,

диаметр полного тела – 10,7 мм, предел прочности стали на разрыв 800 МПа, соотношение предела текучести и предела прочности – 0,8. Диаметр используемых распределительных траверс-шайб – 96,0 мм.

Зависимость усилия в стержне от крутящего момента

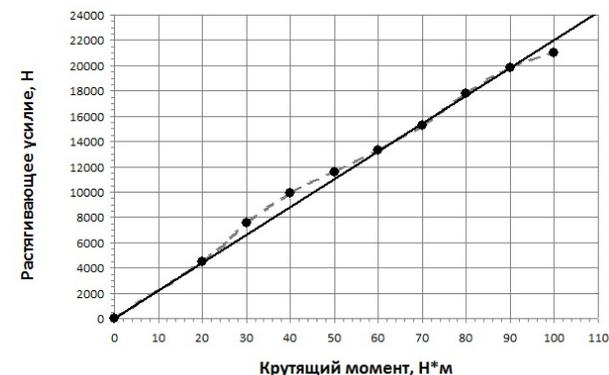


Рис. 1. Диаграмма зависимости усилия в стержне от крутящего момента по индикатору динамометрического ключа

Последнее обстоятельство обусловило ограничение плиты по ширине – менее 2000 мм, а также по толщине – около 100 мм (принята 120 мм). Соответственно, длина плиты была принята 3000 мм со свободным пролетом 2760 мм.

Ввиду максимальных габаритов испытательного образца, использование универсальных испытательных машин, имеющихся в распоряжении лаборатории, не представлялось возможным. Соответственно, для приложения сосредоточенных сил к конструкции было необходимо собрать испытательный стенд с рычажной установкой или иным подобным решением. Схема испытательной установки приведена на рис. 2. Нагружение производилось металлическими грузами (6) различного веса, укладываемыми на стальную траверсу (7), одним краем опертую на регулируемую по высоте (9) и по горизонтали (8) опору, а другим – на металлический брусок (3), передающий нагрузку непосредственно на испытательный образец. Между траверсой (7) и бруском (3) был установлен динамометр (4) для контроля нагружения. Для полного снятия нагрузки с образца нагружающая опора поднималась при помощи ручной тали (5).

Характеристика основных входных постоянных факторов в исследовании приведена в табл. 1.

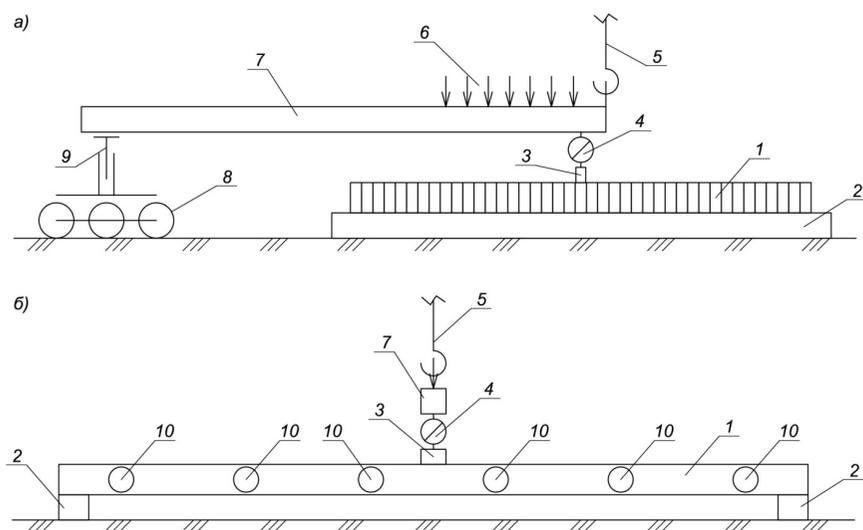


Рис. 2. Схема испытательной установки: а) вид сбоку б) вид спереди; 1 – испытательный образец; 2 – опоры ПНД; 3 – металлический брусок; 4 – динамометр; 5 – таль; 6 – грузы; 7 – траверса; 8 – регулирование по горизонтали; 9 – регулирование по вертикали; 10 – распределительные траверсы-шайбы

Входные постоянные факторы

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Значение
1	Температурный режим	°С	20
2	Влажностный режим	%	60
3	Материал арматуры	-	сталь
4	Диаметр арматуры	мм	10,7
5	Материал ПНД	-	сосна, 2 сорт
6	Пролет ПНД	мм	2760

Характеристика контролируемых входных переменных факторов в исследовании предварительно напряженных деревоплит приведена в табл. 2.

Выходным параметром в эксперименте являлся прогиб f , одновременно определяемый для всех точек плиты при помощи лазерного сканера Z+F IMAGER 5010C. При этом для удобства некоторые точки были обозначены при помощи маячков (пример приведен на рис. 3).

Матрица планирования многофакторного эксперимента по плану Бокса B_3 в натуральных показателях и в кодировке приведена в табл. 3.

Таблица 2

Входные переменные факторы

№ п/п	Наименование	Ед.изм.	Обозначение		Уровни варьирования			Интервал варьирования
			натуральное	кодированное	нижний (-)	средний (0)	верхний (+)	
1	Ширина ПНД	м (шт. досок)	b	X_1	0,945 (21)	1,395 (31)	1,845 (41)	0,450 (10)
2	Шаг постановки стержней	м	S	X_2	0,250	0,500	0,750	0,250
3	Усилие предварительного напряжения	Н (Нм)	F	X_3	7733 (35)	15466 (70)	23200 (105)	7733 (35)

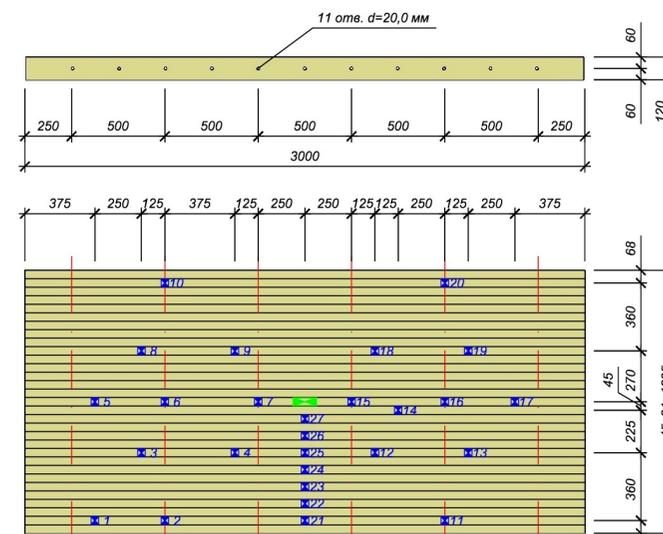


Рис. 3. Сборочная схема испытательного образца (пример)

Согласно табл. 1–3, рис. 3 были изготовлены образцы для испытаний; согласно рис. 2 – собран испытательный стенд и проведены испытания. Нагружение производилось ступенчато со ступенью около 100,0 кг. Выдержка – 10 мин. Съемка лазерным сканером производилась на каждой ступени после выдержки. Максимальная сосредоточенная сила по динамометру составляла 584,0 кг. До разрушения конструкция не доводилась.

Результаты испытаний в части прогибов центральной точки плиты для всех ступеней нагружения каждого образца приведены в табл. 4.

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

№ п/п	Матрица планирования					
	b , м	b , кодировка	S , м	S , кодировка	F , Н	F , кодировка
1	1,845	+1	0,75	+1	23200	+1
2	1,845	+1	0,25	-1	23200	+1
3	1,845	+1	0,75	+1	7733	-1
4	1,845	+1	0,25	-1	7733	-1
5	1,845	+1	0,50	0	15466	0
6	1,395	0	0,75	+1	15466	0
7	1,395	0	0,25	-1	15466	0
8	1,395	0	0,50	0	23200	+1
9	1,395	0	0,50	0	7733	-1
10	0,945	-1	0,50	0	15466	0
11	0,945	-1	0,25	-1	7733	-1
12	0,945	-1	0,75	+1	7733	-1
13	0,945	-1	0,25	-1	23200	+1
14	0,945	-1	0,75	+1	23200	+1

Таблица 4

Прогибы центральной точки плиты

№ п/п	Прогиб центральной точки плиты, мм; при нагрузке, кН					
	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,21–5,84
1	0	0,50	1,20	1,70	2,40	3,10
2	0	0,60	1,30	2,00	2,70	3,30
3	0	0,60	1,40	1,80	2,70	3,60
4	0	1,20	1,50	2,30	2,70	3,30
5	0	0,70	1,60	2,50	3,10	3,70
6	0	0,80	1,10	1,80	2,30	3,30
7	0	0,70	1,30	1,80	2,40	3,30
8	0	0,70	0,90	1,90	2,30	3,00
9	0	0,50	1,10	1,60	2,10	2,80
10	0	0,80	1,20	1,90	2,20	3,00
11	0	0,70	1,20	1,80	2,40	3,10
12	0	0,80	1,40	1,80	2,60	3,30
13	0	0,90	1,50	2,00	3,10	3,80
14	0	0,90	1,30	1,90	2,60	3,30

В результате анализа данных эксперимента для центральной точки плиты была получена математическая модель, описывающая максимальные прогибы ПНД в зависимости от исходных значений переменных факторов по табл. 2.

$$f(x_1, x_2, x_3) = 1,246 + 0,232x_1 + 0,305x_2 - 0,282x_3 - 0,011x_1^2 - 0,106x_2^2 - 0,039x_1x_2 + 0,041xx + 0,109xx + 0,129xx \quad (1)$$

Полный объем результатов испытаний содержит в себе информационные модели, включающие облака точек, совмещенные с фотофиксацией процесса испытания в момент съемки, с указанием всех координат. Пример графического отображения (рис. 4.)



Рис. 4. Результат съемки (пример)

Возможно также проанализировать для каждого образца степень совместности работы элементов плиты друг с другом. В поперечном сечении, проведенном через центр плиты, сравним максимальный (центральная точка) и минимальный (свободный край) прогибы на последней ступени нагружения, так как в этом случае исключаются рыхлые деформации, а характер работы конструкции проявляется в полной мере. Введем показатель совместности работы элементов ПНД:

а) для плиты целиком

$$V_f = f_{\max} / f_{\min} ; \quad (2)$$

б) для выделенной полосы шириной, соответствующей минимальной ширине образца (21 слой – 945 мм).

$$V_{f,21} = f_{\max} / f_{\min,21}; \quad (3)$$

Показатели совместности работы для различных исследуемых сочетаний конструктивных факторов, влияющих на НДС ПНД (см. табл. 3), в таком случае приобретают значения, указанные в табл. 5.

Таблица 5

Показатели совместности работы

Сочетание конструктивных факторов (по таблице 3)	Показатель	
	V_f	V_{f21}
1	4,429	2,385
2	16,500	2,538
3	8,372	2,400
4	11,000	2,750
5	12,333	3,700
6	4,714	2,357
7	4,125	2,538
8	2,727	2,000
9	2,545	2,000
10	1,154	1,154
11	1,292	1,292
12	2,063	2,063
13	1,520	1,520
14	1,435	1,435

Таким образом, без учета эффективной ширины плиты наибольшей жесткостью обладает ПНД с сочетанием факторов № 10, наименьшей – № 2. А для выделенной полосы шириной, соответствующей минимальной ширине образца, т. е. с учетом эффективной ширины плиты, наибольшей жесткостью обладает ПНД с сочетанием факторов № 10, наименьшей – № 5.

Литература

1. Коваль П. С. Сравнительный анализ современных методов расчета предварительно напряженных деревоплит / П. С. Коваль // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – №6 (59). – С. 97-101.
2. Коваль П. С. Экспериментальное исследование работы предварительно напряженной деревоплиты на изгиб / П. С. Коваль // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №4 (63). – С. 81-86.
3. Коваль П. С. Разработка методики расчета предварительно напряженных деревоплит / П. С. Коваль // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №5 (64). – С. 47-52.
4. Черных, А. Г. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: Учебное пособие / А. Г. Черных. – Братск: БрИИ, 1996. – 58 с.

5. Andersson, E., Bergendahl, J. Experimental and numerical investigations on stress laminated timber bridges: master's thesis in the master's programme structural engineering and building performance design / E. Andersson, J. Bergendahl. – Sweden, Göteborg: Chalmers university of technology, 2009. – 105 p.

6. Crews, K. Behaviour and critical limit states of transversely laminated timber cellular bridge decks: Ph. D. Thesis / K. Crews. – Australia, Sydney: University of technology, 2002. – 252 p.

7. EN 1995-2:2004. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 2: Bridges / European committee for standardization. – CEN, 2004. – 29 p.

8. Ritter M. A. Timber bridges: design, construction, inspection, and maintenance / Michael A. Ritter. USA, DC, Washington: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990.

УДК 614.849

Иван Семенович Инжутов,
д-р техн. наук, профессор
Сергей Петрович Амелчугов,
д-р техн. наук
Александр Федорович Рожков,
канд. техн. наук, доцент
(Сибирский федеральный университет)
Виктор Иванович Жаданов,
д-р техн. наук, профессор
(Оренбургский Государственный
университет)
Вячеслав Васильевич Пуртов,
канд. техн. наук, доцент
(Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: isi.priemnaya@sfu-kras.ru

Ivan Semenovich Ingutov,
Dr. of Tech. Ec., Professor
Sergey Petrovich Amelchugov,
Dr. of Tech. Ec.
Alexandr Fedorovich Rozhkov,
PhD of Tech. Ec
(Siberian Federal University)
Victor Ivanovich Zhadanov
Dr. of Tech. Ec., Professor
(Orenburg State
University)
Vyacheslav Vasilyevich Purtoov,
PhD of Tech. Ec
(Novosibirsk State University
of Architecture and Construction)
E-mail: isi.priemnaya@sfu-kras.ru

**ОСНОВЫ КОНСТРУКТИВНОЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
АРКТИЧЕСКИХ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ**

PRINCIPLES OF STRUCTURAL FIRE SAFETY OF WOODEN BUILDINGS

Рассматриваются вопросы обеспечения пожарной безопасности арктических деревянных зданий и сооружений. На основе исследования барьеров безопасности установлены факторы возникновения и развития пожаров. Проведен анализ нормативных требований в области пожарной безопасности деревянных зданий. Проанализированы условия, влияющие на развитие пожаров в объектах деревянного домостроения. Обобщены основные принципы пожаробезопасного конструирования деревянных зданий и сооружений. Представлены задачи по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения пожарной безопасности деревянных объектов защиты.

Ключевые слова: пожарная безопасность; деревянные здания; огнестойкость строительных конструкций; огневые испытания.

Deals with the issues of fire safety of wooden arctic buildings and structures. Based on the study of safety barriers the factors of the emergence and development of fires. The analysis of the normative requirements in the field of fire safety of wooden buildings. The paper analyses the

conditions influencing the development of fires in the objects of wooden construction. Summarizes the basic principles of fireproof construction of wooden buildings and structures. Provides tasks to further improve the system of fire safety of wooden objects of protection.

Keywords: fire safety; wooden buildings; fire resistance of building structures; fire tests.

Введение

Пожары в арктических поселениях с преобладающей деревянной застройкой, особенно в сочетании с тундровыми пожарами [1], наносят большой ущерб. Строительные конструкции зданий и сооружений, выполненные из дерева, являются одним из компонентов горючей системы, способствующей распространению пожара. Общество реагирует на обстановку с пожарами принятием дополнительных нормативных ограничений, что привело к созданию достаточно сложной модели противопожарной защиты населенного пункта [2]. Зачастую застройщики при строительстве деревянных зданий и сооружений не могут преодолеть ограничения установленных норм пожарной опасности, прежде всего по экономическим причинам. Между тем, развитие технологий деревянного домостроения, в том числе огнестойкого, создание новых способов обнаружения пожаров, приемов реагирования на возникающие пожары, совершенствование технических средств спасания людей от пожара и т. д., создают предпосылки для смягчения требований нормативных документов в области пожарной безопасности. Введение норм технического регулирования и принятие технических регламентов, устанавливающих требования на основе исследования пожарного риска, в корне изменило принципы противопожарного нормирования безопасности зданий и сооружений.

Опыт строительства и эксплуатации зданий различной этажности и функционального значения показывает, что для деревянных зданий требуются новые подходы, которые касаются объемно-планировочных решений, строительных конструкций, фасадов, систем обнаружения и тушения пожара и пр. [3, 4]. При проектировании деревянных зданий важную роль играет также оценка риска и анализ возможных угроз безопасности. В первую очередь, при проектировании многоэтажных деревянных зданий одним из решений, способствующих ограничению распространения пожаров, является деление их на пожарные отсеки и секции. Особое внимание следует уделять огнестойкости конструкций, пожарно-техническим характеристикам фасадных систем и строительных материалов, оконным проемам, откосам крыш, системе вентиляции и дымоудаления.

Для предотвращения распространения огня по деревянным конструкциям предлагаются различные подходы. К пассивным методам защиты относится огнестойкая пропитка древесины, а также применение над оконными проемами негорючих материалов (минеральная вата, штукатурка), которые препятствуют распространению огня на верхние этажи. К активным методам защиты деревянного здания относится применение водяных систем пожаротушения. Предлагается также использовать огнестойкие окна или жалюзи из негорючих материалов, которые при пожаре закрываются автоматически.

Нормативные требования в области пожарной безопасности деревянных зданий

Основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности определяются Федеральным законом № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – ФЗ-123) [5], который устанавливает общие требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям. Так, в зданиях и сооружениях должны применяться основные строительные конструкции с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемой степени огнестойкости зданий и сооружений и классу их конструктивной пожарной опасности.

Строительство одно- и двухэтажных деревянных жилых домов V степени огнестойкости в соответствии с СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» [6] допускается при наибольшей допустимой площади этажа 800 и 500 м², соответственно. Показатели огнестойкости строительных конструкций здания в этом случае не нормируются. При огнестойкости строительных конструкций не менее R(REI) 15 или E 15 допускается строительство трехэтажных жилых домов класса конструктивной пожарной опасности C2 и IV степени огнестойкости. При этом строительные конструкции внутренних лестничных клеток должны иметь предел огнестойкости REI 45, а марши и площадки – предел огнестойкости R 15 и класс пожарной опасности K1.

В принципе, строительство жилых зданий в соответствии с требованиями свода правил [6] допускается с применением любых конструкций при соблюдении требований к ним по классу конструктивной пожарной опасности и пределу огнестойкости, установленным ФЗ-123 [5].

Аналогичные требования по допустимой высоте здания и площади этажа в пределах пожарного отсека в зависимости от степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности приведены в СП 54.13330.2011 «Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003» [7].

Наиболее развита нормативная база по строительству деревянных зданий в Северной Европе [3, 8, 9]. Так, в Швеции использование деревянных конструкций в качестве несущих не ограничено, если они имеют соответствующие пределы огнестойкости. Применение незащищенных деревянных конструкций и материалов во внутренней и внешней отделке ограничено двумя этажами.

Датские строительные нормы допускают использование деревянных конструкций в четырехэтажных зданиях при наличии в них автоматических установок пожаротушения (АУПТ). Применение незащищенных деревянных конструкций внутри и снаружи здания возможно также только в двухэтажных зданиях.

В Норвегии строительство деревянных домов допускается до 4 этажей при огнестойкости строительных конструкций с пределом огнестойкости не

менее R 60. При высоте более 4 этажей использование деревянных конструкций требует оценки пожарного риска и доказательной базы. В зависимости от площади пожарного отсека (200 м²) и этажности здания (4 этажа) имеются ограничения по применению строительных и отделочных материалов.

Противопожарными правилами Финляндии разрешается строительство четырехэтажных зданий жилого и нежилого фонда, имеющих деревянный каркас и деревянную фасадную обшивку, при условии выполнения ряда требований. В частности, обязательным требованием является оснащение таких зданий спринклерными установками пожаротушения. Для жилых зданий высотой до 2-х этажей это условие необязательно.

Между отдельно стоящими деревянными домами и подсобными помещениями рекомендуется устраивать противопожарные разрывы шириной не менее 8 м. Если данное условие выполнить не удастся, то рекомендуется применять дополнительные меры по защите от распространения огня по территории: оборудование жилых помещений пожарной сигнализацией и средствами автоматического пожаротушения; установку пожарных гидрантов; устройство противопожарных преград между зданиями; монтаж противопожарных заполнений в оконных и дверных проемах наружных стен; устройство противопожарных разрывов на фасадах и карнизах зданий; посадку в разрывах между зданиями лиственных деревьев.

Минимальная ширина подъездных путей для пожарных машин составляет 3,5 метра, минимальная высота – 4,0 метра, радиус поворота – не менее 12 метров. Конструкция кровли зданий также должна предотвратить распространение огня на соседние строения. Распространение огня с карнизов в чердачные помещения в многоэтажных деревянных зданиях каркасной конструкции можно предотвратить при помощи устройства раздельной вентиляции наружной стены и чердака. При этом обязательно следует обеспечить необходимое вентилирование чердачного пространства, а также требуемую огнестойкость конструкции нижней части карниза. Это можно сделать при помощи вентилирования наружной стены из-под глухой нижней части карниза, а вентилирование чердака – из-под стрехи карниза (над водосточным желобом). Огнестойкость участка наружной стены, примыкающего к карнизу и чердачному пространству, желательно усилить обшивкой этого участка, например, гипсокартоном.

В Германии требования к деревянным строениям зависят от этажности. Так, в зданиях до 3 этажей разрешено использовать незащищенные деревянные конструкции с пределами огнестойкости REI 30. В зданиях до 5 этажей допускается применять деревянные конструкции с пределами огнестойкости REI 60. При этом поверхности конструкций должны быть защищены негорючими материалами. Здания выше 5 этажей следует строить по специальным проектам, при этом предел огнестойкости конструкций должен быть не менее REI 90 с негорючей защитой K₂60. Для всех помещений зданий выше 5 этажей необходимо устройство АУПТ.

При строительстве многоэтажных деревянных домов в США строго соблюдают нормы деления здания на пожарные отсеки [9]. Противопожарная стена с пределом огнестойкости 120 мин служит границей между участками площадью более 600 м². Пределы огнестойкости стен между квартирами и стен, граничащих с коридором, также составляют 120 мин. Допускается строительство шестиэтажных деревянных зданий при наличии АУПТ.

Краткий анализ противопожарных требований к деревянным зданиям показывает, что основные ограничения связаны с этажностью и пределами огнестойкости несущих конструкций. При увеличении этажности, как правило, применяются АУПТ. Имеются серьезные ограничения по применению горючих материалов для внутренней и внешней отделки.

Барьеры пожарной безопасности

Для понимания механизмов, влияющих на безопасность объекта деревянного домостроения удобно обратиться к системе барьеров пожарной безопасности (рис. 1).

К предупредительным противопожарным барьерам относятся:

- системы пассивной противопожарной защиты;
- ограждения, имеющие функциональный предел огнестойкости;
- строения, имеющие функциональный предел огнестойкости;
- здания, имеющие функциональный предел огнестойкости.

К реагирующим противопожарным барьерам относятся:

- системы активной противопожарной защиты;
- силы и средства пожаротушения гарнизона пожарной охраны;
- силы и средства пожаротушения добровольной пожарной охраны;
- средства организованной самопомощи населения поселения.

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод, что наиболее надёжным будет комплексное влияние на предупредительные и реагирующие барьеры, потому что реализация одного или нескольких барьеров не гарантирует защиту от негативных последствий пожара. Возведение тех или иных барьеров, так или иначе, сказывается на сметной стоимости объекта. Поэтому собственник заранее должен определиться с рисками последствий от пожара, понимая, что абсолютной безопасности достичь невозможно.

Возникновение пожара обусловлено природными, социальными и техногенными факторами. Взаимодействие этих факторов характеризуют место возникновения возможного горения, а также пути распространения пожара (извне или изнутри). Отграничение распространения пожара достигается набором реагирующих барьеров – мероприятиями активной и пассивной противопожарной защиты. Таким образом, собственник всегда имеет возможность выбора набора мер, обеспечивающих наиболее эффективную защиту объекта деревянного домостроения от пожара. Оценивая относительную сто-

имость барьеров безопасности, следует сосредоточить свое внимание на конструктивной пожарной безопасности деревянных зданий, так как она создает наиболее комплексное влияние на предупредительные и реагирующие барьеры.

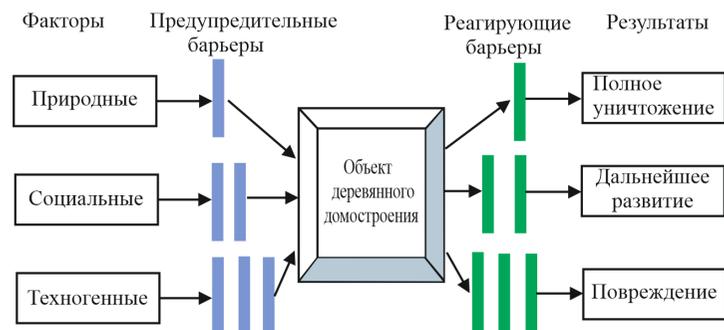


Рис. 1. Барьеры пожарной безопасности в области деревянного домостроения

Огнестойкость и пожарная опасность деревянных конструкций

Основным, краеугольным камнем в применении строительных конструкций из древесины являются их пожарно-технические характеристики: огнестойкость и пожарная опасность.

Пожарная опасность деревянных конструкций [10] зависит от температуры воспламенения конкретной породы древесины или самовоспламенения измельченных древесных материалов, скорости выгорания и распространения пламени по поверхности, пространственной ориентации элементов конструкции, токсичности продуктов горения и пиролиза, огнестойкости конструкции. Имеют значение предельные параметры, характеризующие условия самоподдержания процесса горения, например, пожар происходит снаружи или внутри помещения [11].

Пожарная опасность строительных конструкций подразделяются на четыре класса, устанавливаемых ГОСТ 30403-2012 [12]: КО (непожароопасные); К1 (малопожароопасные); К2 (умереннопожароопасные); К3 (пожароопасные) [12].

Одна и та же конструкция в зависимости от времени огневого воздействия может принадлежать к различным классам пожарной опасности. Например, КО(15) – конструкция класса пожарной опасности КО при времени огневого воздействия 15 мин, а К1(30) – конструкция класса пожарной опасности К1 при времени огневого воздействия 30 мин.

Под огнестойкостью строительных конструкций понимается их способность сохранять несущую и (или) ограждающую способность в процессе пожара. Наиболее распространённым и надёжным методом определения предела огнестойкости является экспериментальный – огневые испытания. Многочисленные исследования реальных пожаров показали, что в их развитии можно

выделить характерные этапы и стандартизировать режим «температура – время». В 1966 г. Международной организацией по стандартизации для испытания строительных конструкций по экспериментальному методу была введена стандартная температурная кривая для характеристики температурного режима пожара [13, 14].

Проведенные исследования по данному методу деревянных конструкций однозначно свидетельствуют о том, что предел огнестойкости конструкций из массива дерева значительно выше предела огнестойкости многих обычных конструкций, в том числе металлических.

Для несущих строительных конструкций предельными состояниями при испытании на огнестойкость являются: потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций; потеря целостности (E); потеря теплоизолирующей способности (I).

Известно [15], что определяющим при потере несущей способности конструкции (огнестойкости) во время пожара для стали является предел текучести, поэтому разрушающий изгибающий момент M_p можно определить по формуле:

$$M_p = R_y \cdot W_h, \quad (1)$$

где R_y – предел текучести при температуре t , МПа; W_h – момент сопротивления поперечного сечения, МПа.

Числовые значения временного сопротивления (предела прочности) различных материалов приведены в табл. 1.

Сталь превосходит по кратковременным прочностным свойствам древесину более чем в 3 раза, однако коэффициент теплопроводности λ (Вт/м°C) у древесины в 240 раз меньше, а удельная теплоемкость c (кДж/кг°C) больше почти в 6 раз (табл. 2).

Таблица 1

Числовые значения предела прочности

Материал	Временное сопротивление R , МПа, при:		
	сжатии R_c	растяжении R_p	изгибе R_u
Торфоплиты	0,5	-	0,25-0,2
Бетон обыкновенный	5-30	0,6-2	-
Бетон высокопрочный	40-80	2,5-7	-
Кирпич глиняный	7,5-30	-	1,5-3,5
Древесина:			
– вдоль волокон	50	130	100
– поперек волокон	6,5	6,5	75
Гранит	100-250	2-4,4	-
Сталь	380-450	380-450	380-450

Таблица 2

Теплофизические характеристики строительных материалов

Материал	λ , Вт/м ^{°С}	
Пенопласты	0,04-0,05	--
Минеральная вата	0,05-0,09	--
Древесина	0,24	2,42-2,75
Кирпич глиняный	0,8-0,85	0,8
Тяжелый бетон	1-1,5	0,8
Гранит	3-3,5	0,8
Сталь	58	0,42

При условии равнопрочности поперечного сечения деревянные элементы должны иметь больший момент сопротивления W_b , а, соответственно, и большие размеры, по сравнению с металлическими. Однако сама древесина обладает более низкой теплопроводностью, поэтому при пожаре прогрев её до критических значений не наступает, а предельные состояния деревянных конструкций лимитируются скоростью выгорания древесины. Пожаре стальная конструкция быстро прогревается по всему поперечному сечению, что приводит к её разрушению. В практике тушения пожаров принято, что разрушение металлических конструкций в среднем наступает через 15 минут.

Используемый для исследования пределов огнестойкости стандартный температурный режим, является усредненным [14]:

$$T - T_0 = 345 \lg(8t + 1), \quad (2)$$

где T – температура в печи, соответствующая времени t , °С; T_0 – температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °С; t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Развитие за последнее два десятилетия технологий численного моделирования динамики пожара [16] дает еще одну возможность получения температурного режима, учитывающего реальные условия пожара. Поэтому в процессе испытания и калибровки в испытательных печах должен создаваться такой режим, который будет соответствовать конкретным условиям. Это важно для уникальных, с разнообразной горючей загрузкой и большеобъемных зданий, что позволит на этапе проектирования рассчитывать огнестойкость деревянных конструкций с учетом тепловых воздействий возможных сценариев пожара (рис. 3) [17, 18].

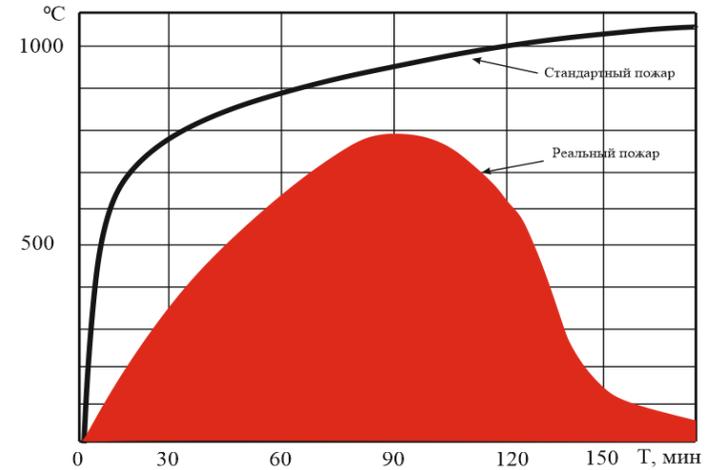


Рис. 3. Численное сравнение стандартного и реального пожаров на примере футбольного манежа

Массовая скорость выгорания древесины зависит от размеров поверхности, доступной для горения и характеризуется коэффициентом поверхности горения K_n

$$K_n = \frac{F_{не}}{F_{пож}}; \quad (3)$$

$F_{не}$ – площадь поверхности горения, м²; $F_{пож}$ – площадь пожара, м².

Массовая скорость выгорания твердых материалов не является постоянной величиной. Она существенно зависит от условий горения, прежде всего от пространственного расположения элемента. При вертикальном или наклонном положении деревянного элемента он попадает в зону действия конвективных потоков пожара, что значительно увеличивает скорость выгорания. Следовательно, основным способом повышения огнестойкости объектов деревянного домостроения является ограничение использования открытых деревянных конструкций с условным диаметром сечения менее 200 мм.

Для деревянных конструкций важным элементом огнестойкости является их обугливание при пожаре и последующие потеря несущей способности (R) и целостности (E). Основными закономерностями, которые необходимы при этом, являются: температура начала обугливания древесины (270 °С), которая достигается на поверхности древесины через 4 мин после начала стандартного теплового воздействия пожара; условная скорость обугливания (скорость перемещения фронта обугливания), включающая влияние угловых закруглений (для древесины хвойных пород – 0,7 мм/мин) [19].

Скорость обугливания при одностороннем обугливания принимается постоянной во времени. Расчетное значение глубины обугливания определяется по следующей формуле [20]:

$$d_{\text{char},0} = \beta_0 t, \quad (4)$$

где $d_{\text{char},0}$ – расчетное значение глубины обугливания при одностороннем обугливания; β_0 – расчетное значение скорости одностороннего обугливания при стандартном воздействии пожара; t – продолжительность воздействия пожара.

Условная скорость обугливания учитывает влияние угловых закруглений и трещин (рис. 4). Расчетное значение условной глубины обугливания определяется по формуле

$$d_{\text{char},n} = \beta_n t, \quad (5)$$

где $d_{\text{char},n}$ – расчетное значение условной глубины обугливания, включая влияние угловых закруглений; β_n – расчетное значение условной скорости обугливания, учитывающей влияние угловых закруглений и трещин.

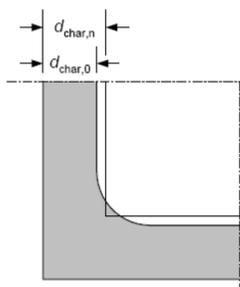


Рис. 4. Расчетная $d_{\text{char},0}$ и условная $d_{\text{char},n}$ глубина обугливания при одностороннем обугливания

Расчетные значения скорости обугливания при стандартном воздействии пожара для некоторых деревянных конструкций даны в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения скорости обугливания β_n и β_0

Материал	β_0 , мм/мин	β_n , мм/мин
Клееная древесина хвойных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 290 \text{ кг/м}^3$	0,65	0,7
Цельная древесина хвойных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 290 \text{ кг/м}^3$	0,65	0,8
Цельная древесина или клееная древесина лиственных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 290 \text{ кг/м}^3$	0,65	0,7
Цельная древесина или клееная древесина лиственных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 450 \text{ кг/м}^3$	0,50	0,55
Брус из клееного шпона с нормативной плотностью $\rho \geq 480 \text{ кг/м}^3$	0,65	0,7
Деревянные панели	0,9	–
Клееная фанера	1,0	–
Древесные плиты, кроме клееной фанеры	0,9	–

Повышение пожарной безопасности деревянных конструкций

Использование в строительстве новых деревокомпозитных материалов и технологий создания конструктивных элементов и модулей заводского изготовления значительно повысило интерес к зданиям с деревянными конструкциями. Важную роль в деревянном домостроении играет экологическая и экономическая привлекательность этих проектов.

Вместе с тем деревянные конструкции могут способствовать возникновению и распространению пожара в здании или сооружении. Так, конструирование чердачных помещений приводит к появлению большого количества дощатых и брусковых деревянных элементов стропильных конструкций, ферм и обрешетки кровли. Поэтому использование в деревянных зданиях совмещённых крыш, например, из гнукклееных оболочек, будет являться барьером для распространения пожара, прежде всего ограничивающим переход горения от здания к зданию.

При открытом применении деревянных конструкций они, как правило, должны быть защищенными. Одним из способов защиты древесины является использование различных антипиренов. Однако, введение добавок, снижающих пожарную опасность древесины и древесных материалов, обычно приводит к некоторому ухудшению физико-механических, диэлектрических и других эксплуатационных и технологических свойств, а также повышению стоимости материала. Иногда древесина защищается обшивками, огнестойкими декоративными панелями, обмазками из негорючих материалов. Поэтому, снижение пожарной опасности древесины и материалов из неё, в том числе путем поверхностного нанесения специальных огнезащитных лакокрасочных материалов, является задачей по оптимизации комплекса характеристик деревянных конструкций.

Применение клеёных деревянных конструкции открывает еще один способ повышения огнестойкости деревянных конструкций – это введение в состав клея компонентов, способствующих образованию кокса при воздействии пламени на деревянную клеёную конструкцию. Первое важное следствие образования кокса – это снижение выхода горючих продуктов разложения древесины в газовую фазу, уменьшение потока горючих газов к зоне реакции горения. Образование коксовой шапки на поверхности деревянной конструкции между пламенем и следующей деревянной ламелью экранирует её от теплового потока, изменяет тепловой баланс поверхности древесины, снижая температуру. Это приводит к ограничению скорости пиролиза до величин, при которых реакция горения невозможна. Следовательно, образование кокса в слое клея – важный процесс, существенно влияющий на механизм горения клеёной деревянной конструкции (рис. 5).

Вместе с тем, применяемые в производстве клееных деревянных конструкций, покрытий и элементов зданий и сооружений клеи, адгезионные характеристики которых улучшаются за счет добавления синтетических смол,

выделяют в условиях пожара, такие токсины, как формалин, изоцианат и другие. Например, формальдегид действует как серьезный аллерген и раздражитель, обладает мутагенными свойствами.

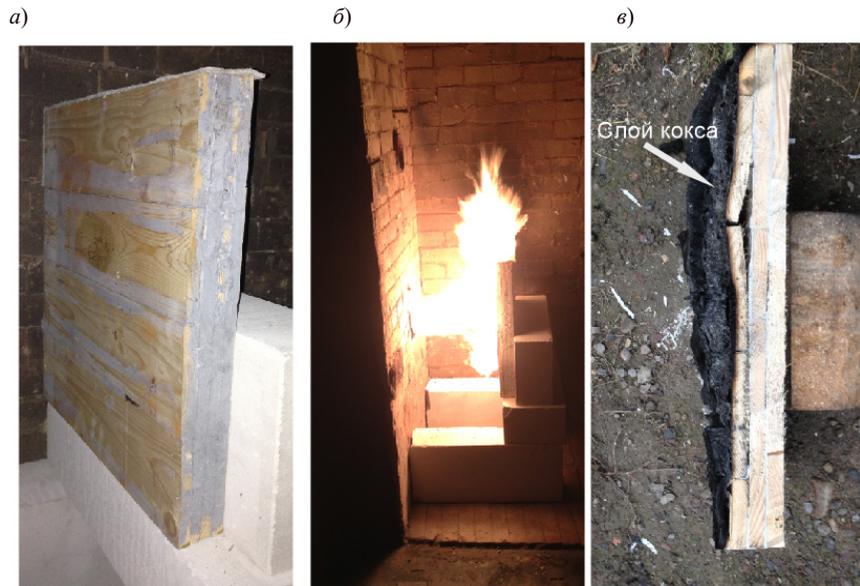


Рис. 5. Состояние клеёной деревянной конструкции:
а – до испытаний, *б* – во время огневого воздействия, *в* – после 30 минутного огневого воздействия

На огнестойкость деревянных конструкций наибольшее влияние оказывают узлы соединения элементов и деталей. В настоящее время применяют более 200 вариантов соединения деревянных элементов, такие как шиповые, торцевые соединения, "ласточкин хвост", на "ус", в паз и т. д. Для усиления узлов чаще всего применяются металлические гвозди, винты, скобы, болты, накладные и врезные пластины или уголки и т. д. При проведении огневых испытаний установлено, что именно эти элементы в деревянных конструкциях подвержены интенсивному прогреву. Это приводит к потере целостности (Е) и (или) потере теплоизолирующей способности соединений вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности узлов конструкции до предельных значений (I) и, следовательно, к снижению при пожаре прочности и целостности деревянной конструкции в целом. Вместе с тем, развитие технологии деревянного домостроения, прежде всего клеевых деревянных конструкций, привело к созданию ряда деревянных крепежных элементов, которые в сочетании с огнестойкими клеями существенно улучшают характери-

стики соединительных узлов. Примеры деревянных крепежных элементов приведены на рис. 6.

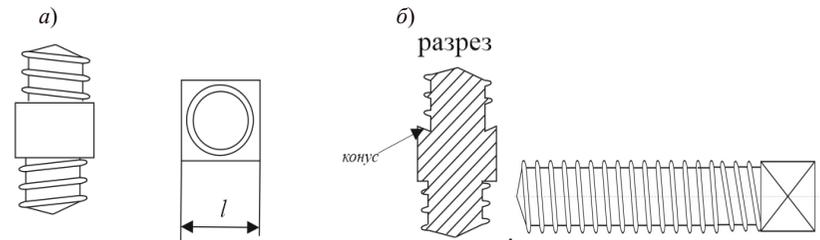


Рис. 6. Деревянные крепежные элементы:
а – стяжной деревянный винт, *б* – деревянный винтовой нагель

Еще одним фактором, способствующим распространению пожаров, являются оконные проемы. Во-первых, остекление не ограничивает лучистое излучение пожара (плотность теплового потока при пожаре – W). Во-вторых, на первых же минутах пожара остекление разрушается, что значительно изменяет характеристики теплообмена пожара в помещении. Вместе с тем, разрабатываемая концепция современного экоддома, предполагает устройство ставень на окнах. Вполне очевидно, что при пожаре закрытые ставни, противопожарные шторы будут являться существенным барьером распространения пожара.

Массовые пожары, происходящие в поселениях с большим количеством деревянных зданий, имеют общую закономерность. Они происходят при уси-

лении ветра, в результате этого пламя пожара свободно перекрывает противопожарные разрывы между зданиями, а перенос искр достигает сотни метров, что приводит к «беглому огню». Так, при пожаре в г. Игарка в 1962 г., согласно описания пожара, наблюдался перенос горящих досок на расстояние более 800 метров. Одним из способов снижения вероятности массовых пожаров является повышение устойчивости ограждающих конструкций к огню. В ряде отраслей используется понятие «функциональная огнестойкость» – способность конструкции выдерживать внешнее воздействие опасных факторов пожара в течение заданного времени. Создание ограждающих конструкций с заданным функциональным пределом огнестойкости в зависимости от возможных тепловых нагрузок ландшафтного пожара позволит создать надежный барьер перехода внешнего пожара на здание.

Одним из проблемных мест в деревянных конструкциях являются пустоты и неплотности. Наибольшее количество пустот находится в конструкциях перекрытий. Часто встречающаяся проблема тушения пожара связана со сложностью проведения разведки и определения точного места ввода огнетушащих веществ. Наличие сквозных вентилируемых пространств способствует быстрому неконтролируемому развитию пожара, в результате чего подача огнетушащих веществ может быть запоздалой.

Изготовление деревянных конструкций из сырого материала в процессе эксплуатации здания приводит к последующему короблению, растрескиванию из-за усыхания. Это приводит к возникновению дополнительных полостей, щелей и зазоров. Пламя, вовлекая продукты пиролиза древесины и при наличии достаточного количества воздуха, имеет высокую температуру, что способствует интенсивному развитию горения. Усушка древесины вдоль волокон, в радиальном и тангенциальном направлениях существенно различаются. Усушка вдоль волокон древесины обычно мала и ей пренебрегают, усушка в радиальном направлении колеблется в пределах 2–8,5 %, а в тангенциальном – 2,2–14 %. Поэтому при строительстве деревянных домов из бруса, круглых бревен над оконными и дверными блоками создаются технологические пустоты, которые заполняются теплоизоляционным материалом. Эти пустоты создают условия перехода пожара как изнутри помещения на фасад здания, так и наоборот.

Применяемые в различных конструкциях противопожарные рассечки не могут быть надежным препятствием распространению пламени, так как даже малейшая их деформация приводит к появлению трещин, отверстий и т. д. Поэтому более надежным способом ограничения распространения пожара в деревянном здании является создание массивных или заполненных теплоизоляцией объемов, например, сот или ячеек.

Для обеспечения пожарной безопасности промышленное деревянное домостроение имеет неоспоримое преимущество перед индивидуальным. Именно промышленное производство обеспечивает максимальный учет условий работы древесины и устранения причин, способствующих проявлению ее

отрицательных качеств. Одним из таких качеств является широкий диапазон колебаний свойств древесины в период строительства и эксплуатации зданий [21]. Фактические характеристики древесины могут отличаться от расчетных. При этом, факторов, влияющих на свойства древесины, достаточно много, прежде всего это анизотропность, порода, сортность, пороки. Например, одна и та же порода деревьев, выращенных в разных климатических условиях, имеет разные свойства древесины. Считается, что древесина хвойных пород, обладающая высокой смолистостью, более пожароопасная, чем лиственных. Поэтому, тщательный контроль качества при изготовлении деревянных конструкций возможен лишь при промышленном производстве. Применение сушильного оборудования, разнообразных деревообрабатывающих станков и механизмов позволяет обеспечить максимальную неизменяемость геометрических форм изделий при длительной эксплуатации и высокую точность изготовления соединительных элементов.

Отдельно следует отметить токсичность продуктов горения. При конструировании зданий возникает два основных аспекта. Первое это применение материалов на основе древесины, в составе которых имеются полимерные смолы и второе это режимы горения при недостатке кислорода. Не важно, какие именно продукты горения генерируются огнем, тем более их бинарное воздействие невозможно оценить, более существенным является проблемы их удаления. Методы дымоудаления, применяемые для зданий из нераспространяющих горение материалов, для деревянных зданий могут быть непригодными, так возникающий приток кислорода воздуха интенсифицирует реакцию горения. Поэтому для большеобъемных зданий наиболее приемлемым вариантом может быть сочетание объемно-планировочных решений и инженерных систем на основе расчетов развития опасных факторов пожара.

Использование в зданиях и сооружениях деревянных конструкций или конструкций с материалами на основе древесины предполагает дополнительные правила эксплуатации этих зданий и содержания прилегающей территории. Данные правила, с учетом противопожарного устройства населенного пункта, необходимо включать в соответствующие разделы проектов.

Одним из преимуществ деревянного домостроения является ремонтно-пригодность после пожара. Даже при наличии значительных повреждений здания при горении, деревянное здание восстанавливается быстрее, чем железобетонное или здание из металлоконструкций. Оценка повреждений деревянных элементов здания не требует инструментальных исследований. Поэтому деревянная конструкция может быть восстановлена путем замены элементов, подверженных горению. Основным требованием при восстановлении является улучшение технических характеристик элементов конструкции и их сочленений.

Современное здание немислимо без входящих в его состав сетей инженерно-технического обеспечения и систем обеспечения безопасности. Поэтому особенности конструктива деревянных зданий накладывают определенные технические требования к этим системам [18]. Таким образом, техниче-

ское задание на проектирование инженерных систем зданий с деревянными конструкциями должно иметь особые требования для обеспечения пожарной безопасности.

Соответствие процессов проектирования новой серии, типа, вида деревянных зданий, утверждение функционального назначения, допускаемой области применения и комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта деревянного домостроения промышленного производства в населенных пунктах должен определяться на основании Технического свидетельства о пригодности новой продукции для применения в строительстве на территории Российской Федерации.

Объект деревянного домостроения промышленного производства в соответствии установленным требованиям по техническому регулированию следует рассматривать как продукцию данного производства. Поэтому минимально необходимые требования к объекту деревянного домостроения индустриального производства, в том числе к входящим в их состав сетям инженерно-технического обеспечения, системам инженерно-технического обеспечения, системам предотвращения пожара и системам противопожарной защиты подлежат обязательному подтверждению соответствия.

Документальное удостоверение соответствия объекта деревянного домостроения индустриального производства требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил и Технического свидетельства должно выполняться в форме обязательной сертификации. Документальное удостоверение соответствия монтажа, наладки и утилизации деревянного здания с учетом реализации требований строительных, санитарных, пожарных, экологических, а также других норм безопасности, утвержденных в соответствии действующим законодательством, может выполняться в форме добровольной сертификации.

Выводы

Развитие деревянного домостроения в России требует создания комплексных подходов к обеспечению пожарной безопасности деревянных зданий и развитие нормативной базы в области пожарной безопасности многоэтажных деревянных зданий.

Реализация предупредительных и реагирующих барьеров пожарной безопасности объекта деревянного домостроения наиболее эффективна на этапе конструирования его элементов.

Необходимо создание новых механизмов подтверждения соответствия объекта деревянного домостроения промышленного производства требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В целях моделирования развития пожаров и оценки пожарно-технических характеристик деревянных конструкций требуется проведение комплексных натуральных огневых испытаний деревянных зданий и сооружений, а также проведение огневых испытаний по оценке огнестойкости деревянных конструкций с использованием новых деревокомпозитных материалов и технологий.

Литература

1. Андреев А. Ю., Андреев Ю. А., Амельчугов С. П., Груманс В. М. Оценка лесопожарного риска и управление им // Пожарная безопасность. 2015. №2. С. 128-134.
2. Амельчугов С.П., Болодыев И.А., Боков Г.В. и др. Обеспечение пожарной безопасности на территории Российской Федерации. М.: ВНИИПО, 2006. 462 с.
3. Gusnadóttir I. Timber as Load Bearing Material in Multi-storey Apartment Buildings: A Case Study Comparing the Fire Risk in a Building of Non-Combustible Frame and a Timber-Frame Building. – Reykjavik: Faculty of Civil and Environmental Engineering School of Engineering and Natural Sciences University of Iceland, 2011. 101 p.
4. Гилетич А.Н., Хасанов И.Р., Макеев А.А. Пожарная безопасность многоэтажных зданий из деревянных конструкций // Пожарная безопасность. 2014. № 2. С. 116-125.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ. М.: ВНИИПО, 2012. 148 с.
6. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. М.: ВНИИПО, 2012. 43 с.
7. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. М.: Минрегион, 2011. 40 с.
8. Fontana M., Frangi A. Fire safety of multistory timber buildings. // Structures & Buildings, 2010. vol. 163, no. 4, pp. 213–226. DOI: 10.1680/stbu.2010.163.4.213.
9. Östman B., Rydholm D. National fire regulations in relation to the use of wood in European and some other countries. Träteck: Swedish Institute for Wood Technology Research, 2006. 26 p.
10. А.И. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное издание. Кн. 1. М.: Химия, 1990. 496 с.
11. Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н. Термодинамика пожаров в помещениях. М.: Стройиздат, 1986. 370 с.
12. ГОСТ 30403-2012 Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность. М.: Стандартинформ, 2014. 10 с.
13. ISO 834-1:1999. Fire resistance tests – Elements of building constructions. Part 1: General requirements. ISO, 1999. 25 p.
14. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. М.: ГУП ФЦП Госстрой, 1998. 17 с.
15. Ройтман В.М. Инженерные решения, по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: Ассоциация «Пожнаука», 2001. 385 с.
16. Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Гаврилов А.А., Дектерев А.А., Негин В.А., Харламов Е.Б. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613073. «Программный комплекс для численного моделирования динамики пожаров (σFire)», регистр. 11 мая 2010 г.
17. Дектерев А.А., Гаврилов А.А., Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Серегин С.Н. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях // Пожарная безопасность. 2007. №4. С. 49-58.
18. Амельчугов С.П., Ключков С.В. Новые информационные технологии в пожарной безопасности // Пожарная безопасность. 2015. №3. С. 144-151.
19. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М.: Минрегион, 2011. 88 с.
20. EN 1995-1-1. Eurocode 5 – Design of timber structures, Part 1-2. General – Structural fire design. CEN, Brussels, 2004. 69 p.
21. Инжутов И.С., Жаданов В.И., Украинченко Д.А., Рожков А.Ф., Афанасьев В.Е. Методологические основы поиска рациональных решений деревянных панельных конструкций: учебное пособие. Оренбург-Красноярск: ООО ИПК "Университет", 2016. 295 с.

УДК 694.14

Павел Николаевич Смирнов

канд. техн. наук,

ст. научный сотрудник

(ЦНИИСК, АО «НИЦ «Строительство»»)

E-mail: spair23@list.ru

Pavel Nikolaevich Smirnov,

PhD of Sci. Tech.,

Senior Researcher

TSNIISK, Research Center of Construction

E-mail: spair23@list.ru

ВИНТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ С МОДИФИКАЦИЕЙ ДРЕВЕСИНЫ КЛЕЕМ

SCREW CONNECTION WITH MODIFICATION OF WOOD GLUE

Приведены результаты исследований нового типа соединений деревянных конструкций на ввинченных стержнях с модифицированием древесины клеем. В первой части статьи обозначены преимущества таких соединений в сравнении с традиционными клеестержневыми и винтовыми соединениями. Во второй части приведены рабочие параметры соединений и результаты их испытаний. На основании полученных результатов был сделан вывод о высокой прочности клеевинтовых соединений, превышающей прочность соединений на клеенных стержнях и винтах. Анализ результатов исследований позволил сделать вывод о перспективности клеевинтовых соединений для широкого применения в деревянных конструкциях.

Ключевые слова: соединения на стержнях, винтовые соединения, винты с метрической резьбой, модифицирование древесины клеем, прочность на выдергивание, напряжения сдвига.

The results of studies of a new type of connections of wooden structures on screwed rods with modification of wood glue are presented. In the first part of article advantages of such connections in comparison with traditional connections on the inserted cores and screw connections are designated. The second part presents the working parameters of the compounds and the results of their tests. On the basis of the obtained results, it was concluded that the high strength of the glued joints exceeds the strength of the joints on the glued rods and screws. The analysis of the research results allowed to draw a conclusion about the prospects of glued joints for wide application in wooden structures.

Keywords: Glue-in rods connection, screw connection, metric screws, wood modification with adhesive, pull-out strength, shear stress.

В ЦНИИСК проведены экспериментальные исследования прочности винтовых соединений деревянных конструкций с модифицированием древесины клеем. Соединения по принципу работы являются стержневыми, т. е. работают преимущественно на выдергивание или продавливание.

В нашей стране аналогом исследуемого типа соединений являются соединения на клеенных стержнях (система ЦНИИСК) [1]. Основным несущим элементом является арматурный стержень, устанавливаемый в отверстие на 4–5 мм больше диаметра стержня погружением в эпоксидный клей. Клеестержневые соединения зарекомендовали себя, как надежные соединения для большепролетных конструкций, в том числе для стыков деревянных элементов по длине.

Зарубежным аналогом является система GIROD (Glue-in rods for timber structures), в которой используются стержни с метрической резьбой, устанавливаемые в отверстие на 1 мм больше диаметра стержня методом погружения в полиуретановый, фенольно-резорциновый или эпоксидный клей [2, 3, 4, 5]. Преимуществом европейской системы является наличие резьбы у стержней, что упрощает сборку узлов, как на заводе, так и на строительной площадке, а также меньший расход клея.

Объединяет две системы технология устройства соединений, зависящая от времени начальной полимеризации клея около 10 часов, а также принцип работы за счет химической адгезии клея к древесине. Характер разрушения клеестержневых соединений – хрупкий, от скалывания и сдвига по границе клей древесина.

Для изготовления элементов большепролетных конструкций требуется клеивание с двух, а часто и с трех сторон деревянных элементов. Для производства конструкций в этом случае требуется около 30 часов. Этот фактор ограничивает объемы производства большепролетных конструкций и, как правило, большие объекты выполняются одновременно на нескольких заводах.

Особенностью способа выполнения исследуемых соединений является ввинчивание стержня в деревянный элемент. Для этого сверлится отверстие на несколько миллиметров меньше диаметра винта, далее в течение нескольких минут выполняется пропитка древесины вокруг отверстия клеем диффузионным методом под атмосферным давлением, после чего вкручивается винт. В качестве винта используется стержень с метрической резьбой. Технология по сложности сравнимая с установкой клеенного стержня, но обеспечивает непрерывность процесса армирования конструкций и устройства узловых соединений.

Преимуществами клеевинтовых соединений является: высокая прочность, в том числе начальная (до 50 % от общей), отсутствие зависимости от полимеризации клея, в 3 раза меньший расход клея, чем для клеенных стержней, возможность применения различных типов клеев. Несущая способность обеспечивается контактной прочностью резьбовой части винта и модифицированной клеем древесины вокруг отверстия. Применение стержней с метрической резьбой, в том числе с прочностью около 1000 МПа (арматура выпускается прочностью не более 500 МПа) позволяет увеличивать рабочую длину винтов и повысить прочность соединений из расчета на один стержень. Возможность применения винтов из нержавеющей стали решает вопрос коррозионной стойкости соединений в сооружениях с химически агрессивной средой.

Для пропитки древесины вокруг отверстия использовались эпоксидный, вододисперсионный эпоксидный и меламино-мочевинно-формальдегидный (ММФ) клеи. Применение ММФ клея для стержневых соединений деревянных конструкций было выполнено впервые и позволило повысить теплостойкость соединений в 3–4 раза в сравнении с эпоксидными клеями (до 225 °С). Кроме того, его жизнеспособность может быть увеличена до 3 часов (жизнеспособ-

ность эпоксидного клея составляет не более 40 мин). Остатки ММФ клея легко растворяются водой, что упрощает очистку инструментов и конструкций.

Таблица 1

Результаты испытаний соединений на продавливание
(длина стержня 100мм, угол к волокнам 90°, $\rho = 450 \text{ кг / м}^3$, $\omega = 10-11\%$)

Тип стержня	Тип клея	Способ пропитки	Продолжительность пропитки	Предельные касательные напряжения, МПа
Вклеенный стержень Ø16A500 (отв. 20мм)	эпоксидный	-	-	7,0
	без клея	-	-	4,1
Винт М20	ММФ	диффузионный	5 мин.	6,1
			5+5 мин.	6,1
	импрегни-рование, 6 атм	5 мин.	6,7	
			8,5	
	эпоксидный	диффузионный	5 мин.	7,6
			5+5 мин.	8,1
вододиспер. эпоксидный	импрегни-рование, 6 атм	5 мин.	6,7	

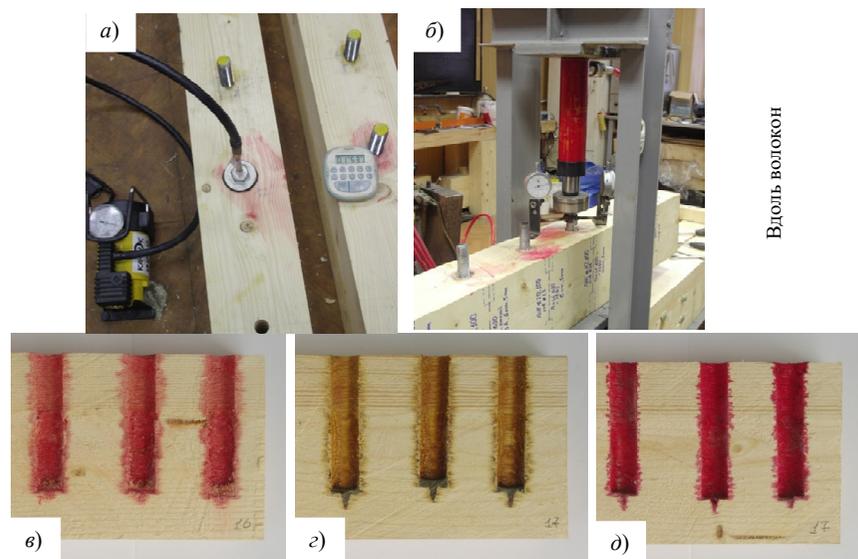


Рис. 1. Модифицирование древесины клеем:
а – процесс импрегнирования древесины; б – испытательный стенд;
в – результат пропитки древесины вододисперсионным эпоксидным клеем; г – то же эпоксидным клеем; д – то же ММФ клеем

Исследования проводились в 3 этапа. На первом этапе определялось влияние вязкости клеевых составов, давления, времени, количества циклов и других параметров пропитки на глубину проникновения клея в древесину вокруг отверстия.

На втором этапе определялась влияние этих параметров на прочность соединений. Для этого были проведены испытания серий малых образцов, которые позволили определить оптимальные технологические параметры пропитки древесины. Для сопоставления результатов, совместно с винтами были испытаны вклеенные стержни и винты без использования пропитки (рис. 1). Прочностные характеристики соединений приведены в табл. 1.

По результатам двух этапов исследований было решено остановиться на диффузионном методе пропитки при атмосферном давлении, так как импрегнирование древесины давало незначительный эффект и усложняло производственный процесс. Модифицирование клеем древесины повысило прочность винтовых соединений в 1,5-2 раза, при этом эффективной оказалась глубина пропитки 3-4 мм.

Следующим этапом было определение прочности винтовых соединений в зависимости от угла наклона винта по отношению к волокнам древесины, его диаметра и глубины анкеровки. Исследование проводилось с применением ММФ клея. Из графических зависимостей на рис. 2 следует, что изменение диаметра винта в пределах от 12 до 24 мм не повлияло на величину касательных напряжений при сжатии, которая фиксировалась в пределах от 6,5 до 7 МПа. При изменении угла наклона винта к волокнам древесины от 0° до 45° зафиксировано линейное увеличение величины предельных касательных напряжений на 80% (рис. 3). При дальнейшем увеличении угла от 45° до 90° наблюдается снижение максимального значения примерно на 30%.

Прочность соединений на выдергивание, оказалась в линейной зависимости от длины анкеровки винта и при длине 750мм составила 250 кН (рис. 4). При этом, кривая зависимости величины касательных напряжений от глубины анкеровки винта свидетельствует о выравнивании их распределения с увеличением длины от 100 до 450 мм. Как видно из графической зависимости на рис. 4, начиная с глубины анкеровки винта 450 мм, касательные напряжения стабилизировались и при дальнейшем увеличении длины оставались на уровне 5,5 МПа. Этот факт значительно отличает работу клеевинтовых соединений от соединений на вклеенных стержнях, где увеличение длины винта свыше 30d не имеет смысла, так как достигается предельная прочность соединений. Эффект значительного снижения величины касательных напряжений с увеличением глубины анкеровки вклеенного стержня связан с относительно большой жесткостью контактного слоя.

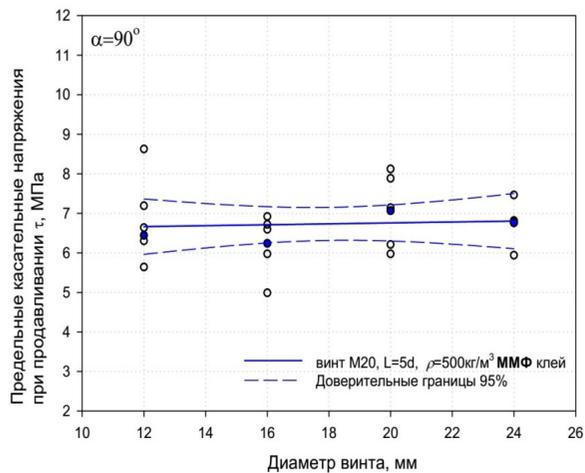


Рис. 2. График зависимости величины касательных напряжений от диаметра винта (слева), испытательный стенд (справа)

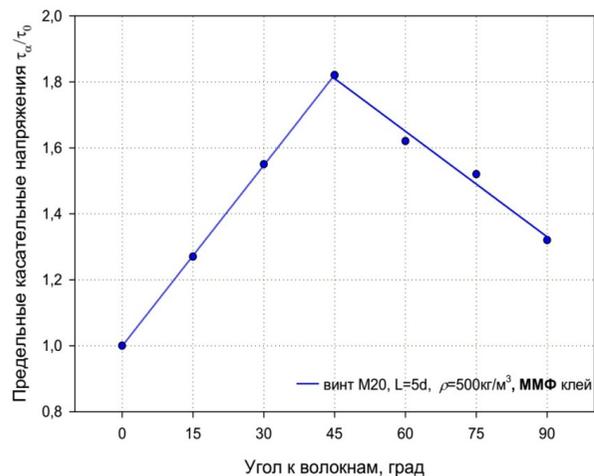


Рис. 3. График зависимости величины касательных напряжений от угла наклона винта к волокнам (слева), испытательный стенд (справа)

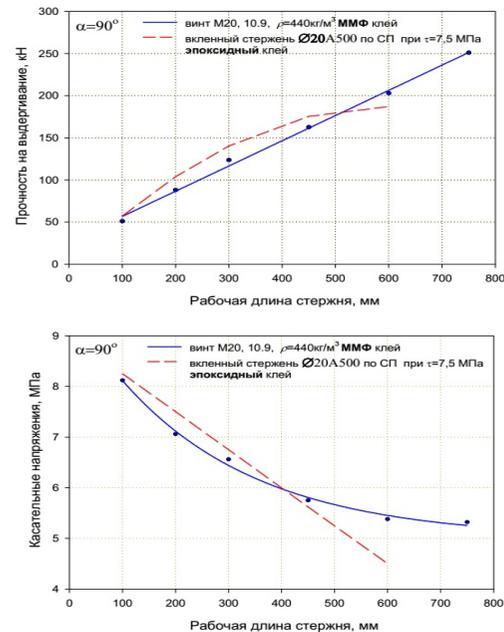


Рис. 4. График зависимости прочности (слева сверху) и величины касательных напряжений (слева снизу) от длины винта, испытательный стенд (справа)

При испытаниях клеевинтовых соединений на выдергивание величина касательных напряжений для винта M20 с глубиной анкеровки 100 мм составила 8 МПа, что на 25 % выше, чем при испытаниях на продавливание. Данный факт требует дополнительных исследований и объясняется, по всей видимости, большей неравномерностью распределения сжимающих усилий по периметру винта.

Характер разрушения клеевинтовых соединений – пластический. Разрушение происходило от скалывания древесины вдоль волокон при больших деформациях в результате их изгиба. После вскрытия образцов были отмечены значительные деформации древесины, находящейся за контактным слоем пропитанным клеем на расстоянии до 50 мм от винта (рис. 5, слева). При величине деформаций соединения около 3 мм разрушение в районе резьбы не наблюдалось (рис. 5, справа). Данный характер разрушения является отличительной особенностью исследуемого типа винтовых соединений от соединений на вклеенных стержнях, где имеет место хрупкий характер разрушения от скалывания и сдвига на границе клей-древесина.

Для подтверждения предпосылок об отсутствии влияния на прочность химической адгезии клея были проведены испытания образцов, в которых выполнялся демонтаж винта длиной 450 мм и его повторное вкручивание в отверстие. Результаты оказались близкими к значениям, приведенным на рис. 4. Данный факт свидетельствует о том, что клеевинтовые соединения являются сборно-разборными, а пропитка древесины клеем позволяет формировать резьбу в деревянном элементе.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о высокой прочности клеевинтовых соединений, превышающей прочность соединений на клеенных стержнях, а с учетом технологии, обеспечивающей непрерывность выполнения работ по их устройству и высокую надежность, новый тип соединений имеет широкие перспективы применения в деревянных конструкциях.

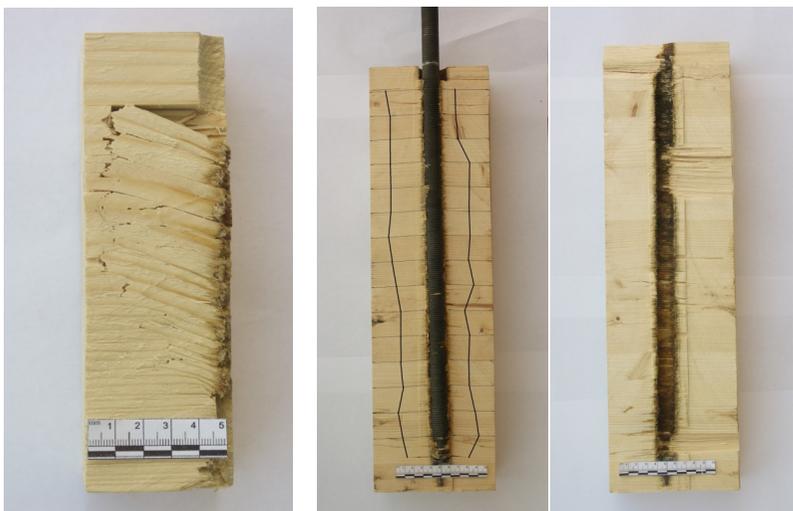


Рис. 5. Вскрытое клеевинтовое соединение с винтом М20 длиной 100мм после испытаний на продавливание (слева), то же для винта М20 длиной 450 мм при испытании на выдергивание (справа)

Исследования в настоящий момент продолжают. Планируется определение физико-механических характеристик модифицированной клеем древесины, проведение испытания узловых соединений, в том числе стыков деревянных конструкций.

Литература

1. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). – М.: РИФ «Стройматериалы», 2013.

2. Riberholt, H. Glued bolts in glulam, in: Proceedings, CIB-W18A/19-7-2; Florence/Italy – 1986.

3. Johansson, C.J. 2000: GIROD – Glued in rods for timber structures. WP 7 – Test methods for production control. Technical Report Nr SP-TR-1, SP, Borås, Sweden

4. Blaß, H.J., Laskewitz, B. 2001: Effect of distance between rods and between rods and timberedge on the axial strength. Technical report for WP 3. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Fridericiana, Karlsruhe, Germany

5. Bainbridge, R.J., Mettem, C.J. 2001a: GIROD – Glued-in Rods For Timber Structures, WP 6 – Effect Of Fatigue, Final Progress Report. Report Number GIROD/TTL PR9, TRADA Technology, High Wycombe, UK.

УДК 699.833

Евгений Циулин, магистрант

Александр Борисович Шмидт

канд. техн. наук

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

E-mail: shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

Evgeny Tsiulin, undergraduate

Aleksandr Borisovich Shmidt

PhD of Techn. Sci.

(Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ LVL МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

INVESTIGATION OF THE PHYSICAL ANISOTROPIC PROPERTIES OF LVL FOR DESIGN OF STRUCTURES

В статье рассматриваются анизотропия модуля упругости материала «Бруса многослойного из клееного шпона» (LVL) марки «Ultralam», с различным сочетанием укладки слоев со взаимно-перпендикулярным расположением в них волокон древесины. В Российских нормативных документах данные о значении модуля упругости под различным углом к направлению волокон отсутствуют. Для исследования использовалось численное моделирование испытаний LVL на изгиб методом МКЭ в программе SCAD.

Ключевые слова: LVL, модуль упругости, метод МКЭ, численный эксперимент.

This article discusses the anisotropy of the modulus of elasticity of the material "laminated veneer laminated veneer Lumber (LVL) brand" Ultralam ", with various combinations of stacking layers with mutually-perpendicular arrangement of fibers of wood in them. The Russian normative documents data about the value of the modulus of elasticity at a different angle to the direction of the fibres are absent. For the study used numerical simulation test on bend FEA method LVL in the program of SCAD.

Keywords: LVL, modulus of elasticity, Finite Element method, a numerical experiment.

Одними из наиболее перспективных конструкций из клееных древесины являются элементы двутаврового, коробчатого и т.п. сечения, то есть так называемые клефанерные конструкции. Замена тонких фанерных стенок на LVL брус, дает много преимуществ по сравнению с традиционными клефанерными сечениями в конструктивном и технологическом плане. Основными из

них являются перекрытие больших пролетов 40–50 м и малый расход материала LVL по сравнению с традиционными клееными деревянными конструкциями. Появляется возможность создавать унифицированные «клефанерные» конструкции из LVL («УКФ-LVL») ломаного очертания и двутаврово-коробчатого сечения с типизированными конструктивными элементами и сечениями.

При проектировании таких «УКФ-LVL» конструкций расчет сечений производится по методу приведенного сечения, что требует знания модулей упругости стенки и поясов под разными углами в участках перелома оси. На данный момент, из-за отсутствия данных о значении модуля упругости под заданным углом к волокнам древесины, проектирование приходится выполнять приближенно с большим запасом.

Цель работы: определить модули упругости для различных типов LVL марки “Ultralam” под разными углами (от 0 до 90° с шагом 5°) по отношению основному направлению листа LVL, то есть к направлению волокон наружных слоев при известных значениях модулей упругости каждого слоя вдоль и поперек его волокон.

Для достижения поставленной цели был выбран метод численного моделирования испытаний натурального образца LVL в соответствии с действующими нормами.

При этом необходимо решить следующие задачи:

Выбрать расчетную схему по схеме испытаний на изгиб в соответствии с действующими нормами на испытания LVL ГОСТ 33124-2014 «Брус многослойный клееный из шпона»;

Построить модель экспериментальных образцов виде многослойных плоских «конечных элементов» с анизотропными (ортотропными) свойствами, соответствующих реальным свойствам “Ultralam”.

Построить модель нагружения конечно-элементного образца LVL на изгиб двумя силами по методике ГОСТ 33124-2014 для определения модуля упругости E_{lv} .

Реализовать численный эксперимент, используя ПБК Scad 11.5.

Построить графические зависимости модуля упругости от угла α расположения слоев относительно оси образца;

Подобрать аппроксимирующие зависимости $E_{lv} - \alpha$, максимально близко соответствующих полученным данным.

Расчетная схема испытаний на изгиб согласно ГОСТ 33124-2014 при установке образца «по кромке» (т.е. с вертикальными клейвыми швами между слоями шпона) представлена на рис. 1.

Поочередно прикладывается нагрузка F_1 и F_2 , где $F_1=0,1 F_{max}$ и $F_2=0,4 F_{max}$. Замеряются прогибы, соответственно f_1 и f_2 . Модуль упругости определяется по формуле:

$$E = \frac{3 \cdot a \cdot L^2 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot (f_2 - f_1)},$$

где h – высота сечения, b – ширина сечения, $a = 6h$.

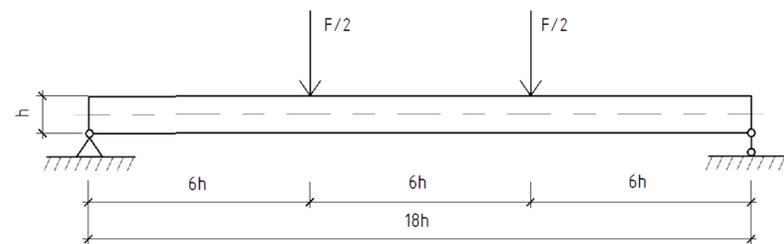


Рис. 1. Расчетная схема согласно ГОСТ 33124-2014

Значение F_{max} определялось в зависимости от временного сопротивления изгибу под разным углом к волокнам древесины R_u , где согласно СП 64.13330.2011.

$$R_{ua} = \frac{R_u}{1 + \left(\frac{R_u}{R_{u90}} - 1\right) \cdot \sin^3 a},$$

На рис. 2 представлена таблица расположения слоев шпона в листах LVL марки “Ultralam”.

СТО 36554501-021-2010 UltraLam

№ п/п	Толщина материала	Схема расположения слоев шпона типов R ³ и R		Схема расположения слоев шпона типов X и I	
		Число слоев	Расположение слоев	Число поперечных слоев	Расположение слоев
1	19	7		2 или 3	I- -I или I-I-I-I
2	21	7		2	I- -I или II-I-II
3	27	9		2	II- -II
4	33	11		2	II- -II
5	39	13		2	II- -II
6	45	15		4	II- - - -II
7	51	17		3	II- - - -II
8	57	19		4	II- - - - -II
9	60	20		4	II- - - - -II
10	63	21		5	II- - - - - -II
11	69	23		5	II- - - - - -II
12	75	25		5	II- - - - - -II
13	90	30		4	II- - - - - - -II
14	100	33		5	II- - - - - - -II
15	106	35		5	II- - - - - - -II

Примечание:
 "I" - параллельное расположение слоев; "II" - поперечное расположение слоев.
 Материал "Ultralam-I" может иметь все слои шпона с параллельным расположением.
 В случае необходимости для толщин 19-45 мм может быть введен дополнительный слой шпона

Рис. 2

Первоначально, модель образца LVL была создана в графическом комплексе AutoCAD 2013 от Autodesk.

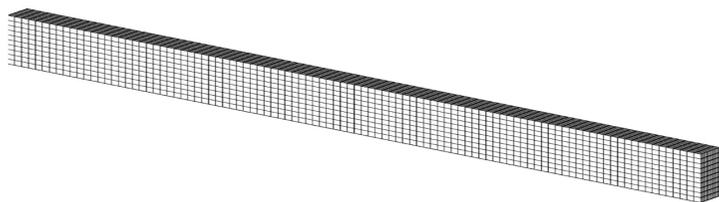


Рис. 3

На рис. 4 изображена модель для случая, когда все волокна находятся параллельно друг другу. Для создания использовались инструменты “3D грань” и “отрезок”.

После экспорта модели форматом dxf в ПК Scad 11.5 каждой пластине присваивались свойства ортотропного тела: значение модуля упругости и коэффициента Пуассона, которые соответствуют расположению слоев в LVL марках R, X, согласно СТО 36554501-021-2010, рис. 2. Стержневые конечные элементы, соединяющие пластины в поперечном направлении – моделировались абсолютно жесткими стержнями.

Так как в ПК Scad 11.5 отсутствует возможность поворота осей пластинчатых элементов на заданный угол, для моделирования случая расположения слоев под разным направлением в плоскости изгиба, было решено вращать пластинчатые элементы на углы от 0° до 90° с шагом 5°.

Модель изображена на рис. 4.

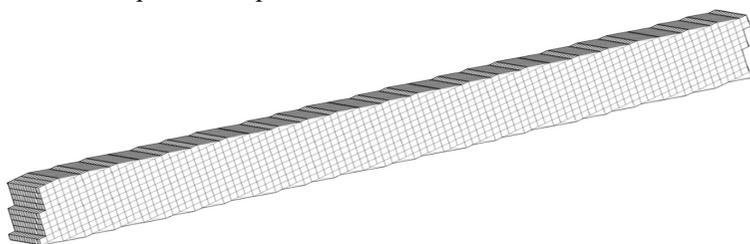


Рис. 4

После решения задачи для LVL толщиной 21 мм типов R и X получены графики, изображенные на рис. 5. Там же представлены полученные аппроксимирующие кривые и уравнения полинома 3 степени, которые могут использоваться в расчетах при любом угле от 0° до 90°.

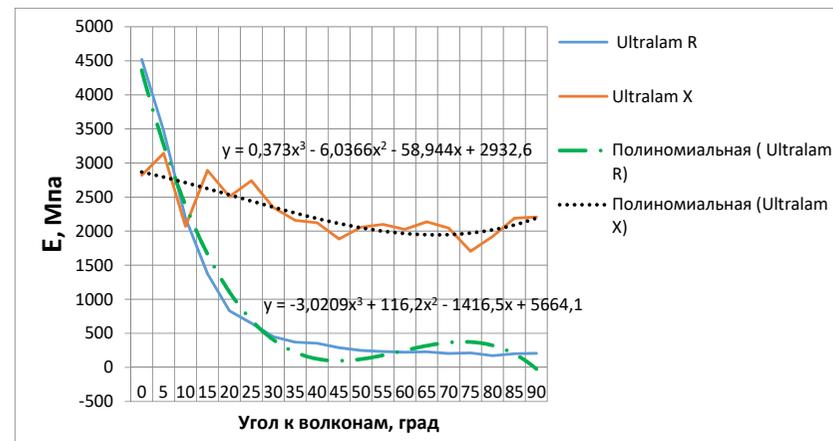


Рис. 5

Литература

- СП 64.13330.2011, Деревянные конструкции Акт. версия СНиП II -25-80, Москва. 2011 г.
- СТО 36554501-021-2010, Деревянные конструкции Многослойный клееный из шпона материал Ultralam (Ультралам), “НИЦ Строительство”. Москва. 2010 г.
- ГОСТ 33124-2014. Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия. СтандартИнформ, Москва, 2015 г.
- Ашкенази Е.К. “Анизотропия древесины и древесных материалов”. Издательство “Лесная промышленность”. Москва. 1978 г.

УДК 699.833

Александр Борисович Шмидт

канд. техн. наук

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

E-mail: shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

Aleksandr Borisovich Shmidt

PhD of Techn. Sci.

(Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

О ПРЕДНАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ДЕРЕВЯННОГО ГНУТОКЛЕЕНОГО ЭЛЕМЕНТА БОЛЬШОЙ КРИВИЗНЫ

ABOUT PRESTRESSED CONDITION WOODEN CURVED ELEMENT OF THE GREATER CURVATURE

Рассматривается процесс возникновения предварительного напряженно-деформированного состояния в деревянных гнутоклееных конструкциях при их изготовлении. Этот процесс условно делится на два этапа, после чего возникает преднапряжение, которое стремится распрямить гнутоклееный элемент, в котором имеют место как тангенциальные, так

и радиальные напряжения, направленные соответственно поперек волокон древесины. Этот факт учитывается в нормах расчета только для сжато-изгибаемых элементов гнутоклееных конструкций для которых усилия увеличивают кривизну элемента. Для гнутоклееных элементов, работающих при разгибающих усилиях начальное напряжение не учитываются.

Ключевые слова: гнутоклееный деревянный элемент, начальное напряжение, радиальные напряжения поперек волокон, тангенциальные напряжения, разгибающие усилия гнутоклееного элемента.

The process of occurrence of the preliminary stress-strain state in the wooden bent-glued structures during their manufacture is considered. This process is divided into two stages, after which there is a pre-stress which tends to straighten a curved element, in which tangential and radial stress, respectively, directed across the in-curl of wood. This fact is taken into account in the calculation norms only for the compressed-bent elements of bent-glued structures for which the forces increase the curvature of the element. For curved elements, working with unbending effort initial tension are not taken into account.

Keywords: curved wood element, the initial voltage, RA-Dialen tension across the grain, tangential stress, extending the efforts of the curved element.

При изготовлении гнутоклееных элементов начальные напряжения, возникающие в отдельных досках (ламелях) при их гнутье, формируют общее предварительное начальное напряженное состояние.

В процессе эксплуатации эти гнутоклееные элементы подвергаются изгибу, и их начальная кривизна может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от величины и направления приложенных нагрузок.

Разделим процесс изготовления криволинейных элементов условно на два этапа: этап 1 – на каждый слой наносится клей, слой изгибается на нужную кривизну, затем все слои соединяются с помощью прессов; этап 2 – после отверждения клея и некоторой выдержки гнутоклееный элемент распрессовывается.

Работа, совершенная при изгибе каждой отдельной доски в пакете на первом этапе, переходит в энергию упругой деформации всего гнутоклееного пакета на втором этапе.

Таким образом, результирующее напряженное состояние готового криволинейного элемента равно суммарному действию упругих процессов, происшедших на первом и втором этапах. Как будет показано ниже, начальные напряжения возникают в двух взаимоперпендикулярных направлениях, а именно: в радиальном – вдоль радиуса (поперек волокон древесины) и тангенциальном – по касательной к дугам гнутых волокон. Тогда в общем виде можем записать

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r^{нач} &= \sigma_r^{(1)} + \sigma_r^{(2)} \\ \sigma_\theta^{нач} &= \sigma_\theta^{(1)} + \sigma_\theta^{(2)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

здесь индексы в скобках означают этап изготовления. Рассмотрим подробнее напряженное состояние на первом этапе.

Предположим, что каждая ламель изгибается по дуге окружности определенного радиуса. Такое деформирование по дуге окружности может быть получено в случае, когда ламель находится в условиях чистого изгиба. При этом можем записать

$$\frac{1}{\rho_i} = \frac{M_i}{E_i \cdot J_i} \quad (2)$$

Здесь ρ_i – средний радиус кривизны, E_i – модуль упругости древесины, M_i – изгибающий момент и J_i – момент инерции i -го слоя.

Заметим, что при круговом очертании оси бруса соотношение (2) остается верным и в случае больших прогибов.

При чистом изгибе в слое отсутствуют касательные напряжения, а возникающие радиальные и тангенциальные напряжения оказываются главными (осесимметричная задача).

Пусть пакет состоит из одинаковых слоев, т. е. $\delta_i = \delta$, $E_i = E$ и $J_i = J$. Тогда для i -го слоя имеем (рис. 1)

$$M_i = \frac{E \cdot J_0}{\rho_i}, \quad \sigma_{\theta i}^{(1)} = \frac{M_i \cdot y}{J_0} = \frac{E \cdot y}{\rho_i}$$

Приняв $y = \frac{\delta}{2}$ и обозначив $\beta = \frac{\rho_i}{\delta}$, получим крайние тангенциальные напряжения на краях i -го слоя на первом этапе

$$\sigma_{\theta i}^{(1)} = \frac{E}{2\beta_i} \quad (3)$$

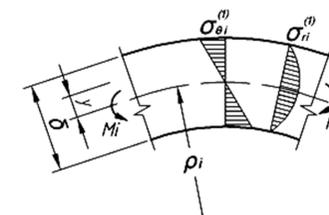


Рис. 1

Далее найдем величину максимальных радиальных напряжений i -го слоя на первом этапе $\sigma_{ri}^{(1)}$. Уравнение равновесия элемента слоя (рис. 2) будут

$$2 \int_F \sigma_{\theta i}^{(1)} dF \cdot \sin(d\gamma) = 2b \cdot \sin(d\gamma) \frac{E}{\rho_i} \int_{-\delta/2}^{\delta/2} y \cdot dy = \sigma_{ri}^{(1)} b \cdot r \cdot 2 \cdot d\gamma$$

В силу малости $d\gamma$ отношение $\frac{\sin(d\gamma)}{d\gamma} = 1$, тогда $\sigma_{ri}^{(1)} = \frac{E}{2\rho_i \cdot r \cdot b} \cdot b \int_{\alpha}^{\delta/2} y \cdot dy$

Очевидно, что $b \int_{\alpha}^{\delta/2} y \cdot dy = S^{omc}$ – статический момент отсеченной части сечения.

Для бруса малой кривизны, каким можно считать один слой ($\beta_i \approx 100 \div 150$) [4], допустимо положить, что максимум радиальных напряжений расположен в середине толщины доски ($y = 0$).

Тогда $S^{omc} = \frac{b \cdot \delta^2}{8}$. Учитывая, что при $y = 0$ $r = \rho_i$ окончательно получим $\max \sigma_{ri}^{(1)} = \frac{E}{8 \cdot \beta_i^2}$

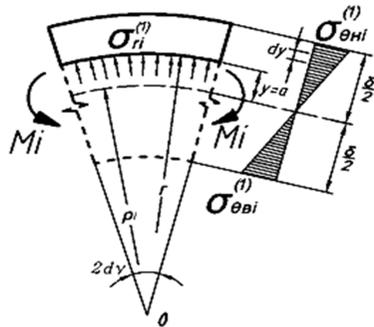


Рис. 2

В дальнейшем $\max \sigma_{ri}^{(1)}$ будем обозначать просто $\sigma_{ri}^{(1)}$.

Далее рассмотрим второй этап – процесс отверждения клея и распрессовки гнукклееного элемента.

После того, как в отдельных досках-слоях (ламелях), находящихся в условиях чистого изгиба, были созданы $\sigma_{\theta i}^{(1)}$ и $\sigma_{r i}^{(1)}$, все слои, не изменяя своей геометрии, прочно «цементируются» клеем. Пологая, что физико-механические свойства клеевой прослойки близки свойствам древесины, можем считать, что после отверждения клея (но до распрессовки) мы получим единое сплошное однородное анизотропное тело.

Суммарное действие изгибающих моментов M_i можно заменить их статическим эквивалентом $M = \sum_{i=1}^n M_i$. Процесс распрессовки равносильен прило-

жению к брусу 7 фиктивного изгибающего момента M^ϕ , равного по величине M и обратного ему по знаку:

$$M^\phi = \sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n \frac{EJ_0}{\rho_i} = E \frac{b \cdot \delta^2}{12} \ln\left(1 + \frac{n}{\beta_1}\right)$$

здесь b – ширина пакета досок, n – количество досок в пакете.

Очевидно, что под действием M^ϕ гнукклееный элемент стремится разогнуться. Для определения возникающих при этом напряжений можно использовать зависимость для расчета кривого анизотропного бруса большой кривизны для случая чистого изгиба [4]. В частности, для краевых тангенциальных напряжений $\sigma_{\theta B}^{(2)}$ (по верхним кромкам), $\sigma_{\theta H}^{(2)}$ (нижним кромкам) и максимальных радиальных $\sigma_r^{(2)}$ напряжений можно воспользоваться формулами

$$\sigma_{\theta B}^{(2)} = \frac{M^\phi}{W} \left(1 - \frac{1}{6\beta}\right), \quad \sigma_{\theta H}^{(2)} = \frac{M^\phi}{W} \left(1 + \frac{1}{2\beta}\right) \quad \text{и} \quad \sigma_r^{(2)} = \frac{M^\phi}{W} \frac{1}{4\beta}, \quad (5)$$

где $\beta = \frac{r_{cp}}{h} = \frac{\beta_1}{n} + \frac{(n-1)}{2n}$ – относительный радиус кривизны всего элемента.

Подставляя (3), (4) и (5) в (1), получим начальные напряжения гнукклееного элемента. Для примера на рис. 3 показана общая картина напряженного состояния криволинейного элемента при $n = 10$ и $\beta_1 = 100$ после распрессовки клееного пакета.

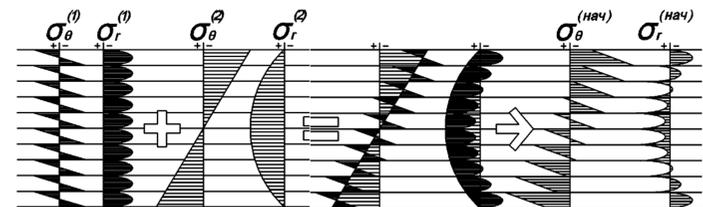


Рис. 3

Таким образом, в гнукклееном элементе всегда возникает начальные радиальные растягивающие напряжения поперек волокон древесины. При этом максимальных значений они достигают в клеевых швах средней части сечения.

Наибольшие тангенциальные напряжения возникают в отдельных внутренних слоях пакета: растяжения $\sigma_{\theta n1}^{нач}$ – на выпуклой стороне первой доски, сжатия $\sigma_{\theta n1}^{нач}$ – на вогнутой кромке последней n -й доски.

В процессе склеивания каждый слой (кроме наружных пластей крайних ламелей) смачивается клеем, который кроме всего прочего является пластификатором. Это неизбежно приведет к известной пластификации волокон древесины. С одной стороны, это позволяет уменьшить радиус кривизны, с другой, – снижает напряжения в крайних волокнах слоя в пределах глубины пропитки клеем. В результате уменьшается величина усилий, стремящихся распрямить гнутоклееный элемент после распрессовки.

Уменьшение напряжения будет тем значительнее, чем меньше толщина слоя, так как в этом случае большая относительная часть его подвергается пластификации. Например, при изготовлении экспериментальных конструкций большой кривизны [4] относительный радиус первой доски достигал $\beta_1 = 50$, и при этом не наблюдалось растрескивание наружных слоев элемента. Таким образом,

$$M_{nl}^{\phi} = k_{nl} \cdot \frac{E \cdot b \cdot \delta}{12} \ln\left(1 + \frac{n}{\beta_1}\right); \quad (6)$$

где k_{nl} – коэффициент, учитывающий снижение упругих сил распрямления за счет пластификации клеем наиболее напряженных внешних пластей ламели. Ориентировочно $k_{nl} = 0.8 \div 0.9$.

Эффект пластификации k_{nl} можно рассматривать как снижение модуля упругости на первом этапе изготовления. Условно полагаем, что на втором этапе после отверждения клея древесина вновь обретает прежние упругие характеристики, но сохраняя новое деформированное состояние.

Далее, в период хранения гнутоклееной конструкции происходит релаксация внутренних напряжений. В работе [5] получены опытные значения коэффициентов снижения модуля упругости k_E в зависимости от относительного радиуса гнутья доски β_1 и времени выдержки в гнутом состоянии. Используя эти данные, можно записать для радиальных напряжений следующее выражение:

$$\sigma_r^{нач} = \frac{k_{nl} \cdot k_E}{4 \cdot \beta \cdot W} \cdot M^{\phi} = \frac{k_{nl} \cdot k_E}{4 \cdot n} E \frac{\ln\left(1 + \frac{n}{\beta_1}\right)}{2\beta_1 + n - 1}. \quad (7)$$

Теперь рассмотрим случай, когда гнутоклееная конструкция загружена так, что в ней возникает распрямляющий изгибающий момент, который стремится разогнуть или выпрямить гнутоклееный элемент. Так, например, работают гнутоклееные балки типа «бумеранг» или полуарки трехшарнирных арок под односторонней (например, снеговой) нагрузкой. Наиболее опасными здесь будут радиальные напряжения, так как при разгибании они будут растягивающими и в сумме с начальными (также растягивающими) увеличивают

опасность разрыва поперек волокон. Заметим, что эта опасность возникает в клеевом шве, где возможен непрочлей. Обратим внимание также на то, что нижние волокна балки изначально сжаты и при разгибающих нагрузках будут только уменьшаться до нуля и далее растягиваться.

Таким образом, коэффициент условия работы m_{zn}^r , учитывающий уменьшение расчетного сопротивления $R_{p,90}$, при расчете криволинейного элемента на разгибание можно определить по формуле

$$m_{zn}^r = 1 - \frac{\sigma_r^{нач}}{R_{p,90}}, \quad \text{при } R_{p,90} = 0.15 \cdot МПа; \quad (8)$$

В табл. 1 сведены значения m_{zn}^r в зависимости от количества досок в элементе n и относительного радиуса первой (наиболее изогнутой) доски β_1 .

Таблица 1
Значения коэффициента m_{zn}^r

n	$\beta_1 = r_1 / \delta$				
	75	100	125	150	200
10	0.730	0.808	0.862	0.897	0.938
20	0.760	0.825	0.871	0.903	0.942
30	0.785	0.840	0.881	0.909	0.944
40	0.807	0.852	0.888	0.913	0.947
50	0.824	0.864	0.896	0.919	0.949
60	0.840	0.872	0.901	0.923	0.951
70	0.852	0.882	0.907	0.927	0.953
80	0.863	0.889	0.912	0.931	0.955
90	0.874	0.896	0.918	0.933	0.957

Как известно, при расчете гнутоклееных элементов на изгиб или сжатие с изгибом используются коэффициент [2], добавляемые к расчетному сопротивлению вдоль волокон. Коэффициенты реализуют предположение о том, что разрушение криволинейного элемента происходит от напряжений сжатия (изгиба) вдоль волокон. Это в действительности имеет место, так как начальные и вызванные нагрузкой тангенциальные напряжения суммируются, повышая вероятность разрушения, а радиальные вычитаются. К тому же последние являются сжимающими поперек волокон и потому не опасны.

При нагрузке, стремящейся разогнуть элемент, краевые тангенциальные напряжения определяются разностью начальных и вызванных нагрузкой. Таким образом, значительно снижается опасность разрушения от нормальных напряжений вдоль волокон и наоборот увеличивается опасность разрушения от радиальных растягивающих усилий. Об этом свидетельствует разрушение конструкций различной кривизны от радиального разрыва поперек волокон в том числе и конструкций малой кривизны.

Этими первоначальными исследованиями подтверждается необходимость выполнения расчетов гнутоклееных элементов дифференцированно, в зависимости от направления изгибающего момента.

Литература

1. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. – М.: Наука, 1978, т.2.
2. СП 64.13330.2011 Свод Правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М: 2011.
3. Справочное руководство по древесине. Лаборатория лесных продуктов США. М.: Мир, 1979.
4. Шмидт А.Б. Исследование работы криволинейных участков большой кривизны в клееных деревянных конструкциях. Автореферат канд. дис. ЛИСИ, Л., 1980.
5. Гордон Э.Я. Влияние начальных напряжений от гнутья на работу криволинейных клееных элементов при сжатии с изгибом. Автореферат канд. дис. МИСИ, М.,1973.

Содержание

Пушкина Т. М., Мелехов В. И., Тюрикова Т. В. Деревянная архитектура кенозерского национального парка: обследование и мониторинг.....	3
Чан Куок Фонг, Разработка конструкций деревянных домов – решение строительства для умного города.....	10
Бардин И. Н., Карельский А. В., Лабудин Б. В. Особенности строительства высотных деревянных зданий.....	18
Пуртов В. В., Павлик А. В. Прочность соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами.....	26
Данилов Е. В. Экспериментальное исследование прочности деревянной фермы из однонаправленного клееного бруса с использованием когтевых шайб.....	37
Коваль П. С. Экспериментально-теоретические исследования преднапряженных деревоплит.....	44
Инжутов И. С., Амельчугов С. П., Рожков А. Ф., Жаданов В. И., Пуртов В. В. Основы конструктивной пожарной безопасности арктических деревянных зданий.....	53
Смирнов П. Н. Винтовые соединения с модификацией древесины клеем.....	70
Циулин Е., Шмидт А. Б. Исследование анизотропии упругих свойств LVL методами численного моделирования для расчета строительных конструкций.....	77
Шмидт А. Б. О преднапряженном состоянии деревянного гнутоклееного элемента большой кривизны.....	81

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ

Научное издание

ИННОВАЦИИ В ДЕРЕВЯННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Материалы 9-й Международной
научно-практической конференции

11–13 апреля 2018 года

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 02.10.2018. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 5,3. Тираж 300 экз. Заказ 113. «С» 70.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ