

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА КОГТЕВЫХ ШПОНКАХ

Черных А. Г., Данилов Е. В.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, e-mail: edanilov@lan.spbgasu.ru).

Проведен обзор методов исследования соединений деревянных конструкций. Рассмотрены наиболее известные работы исследователей отечественной школы проектирования и зарубежные нормативные документы. В статье приводятся основные выводы по работам, произведенным авторами, включая такие соединения, как нагельное, соединение на металлических зубчатых пластинах, дюбелях, шпонках. Обзор показал, что на сегодняшний день не существует методов расчета узловых соединений деревянных конструкций на когтевых шайбах по предельным состояниям второй группы при действии кратковременной и длительной нагрузок, учитывающих изменение механических свойств древесины в зоне контакта с зубцами или нагелем. Выполненный анализ состояния вопроса позволил сформулировать основные направления исследования, включая программу экспериментальных исследований.

Ключевые слова: нагельные соединения, когтевые шпонки, шпонки типа Bulldog, металлические зубчатые пластины, дюбели.

METHODS OF JOINERY TIMBER CONSTRUCTION WITH THE CLAW DOWELS

Chernykh A. G., Danilov E. V.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE), St. Petersburg, Russia (190005, St. Petersburg, 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4).

A review of methods for studies of connections of timber structures. Considered the most famous works of the national school of design and foreign regulations. The paper presents the main findings of the work produced by the authors, including dowel type connections, the connection to the punched metal plates, dowels, pins, since these connections are a kind of dowel type connections. The review found that at present there are no methods for the calculation of nodal connections of wooden structures to claw washers limit state under the action of the second group of short-term and long-term loads, taking into account the mechanical properties of wood in area of contact with the teeth or pins. The analysis of the state of the question allowed us to formulate the main directions of research, including a program of experimental research.

Key words: dowel type connections, toothed ring connection, punched metal plates, dowels.

Введение

При производстве строительных конструкций, как правило, возникает проблема в обеспечении большой несущей способности соединений на малых площадях при болтовых соединениях. Для этого были разработаны различные типы соединений с введением специальных вспомогательных частей, таких, как деревянные и металлические шпонки. Одна из разновидностей таких шпонок – когтевая пластина Bulldog (рис. 1а). Это соединительный элемент, аналог когтевой шайбы Леннова и выполняется в виде двухсторонней или односторонней зубчато-кольцевой шпонки, изготовленной из круглой пластины, края которой вырезаны и наклонены под углом 90° к ее плоскости, образуя треугольные когти, выступающие попеременно с противоположных сторон пластины.



Рисунок 1. Когтевая пластина Bulldog:

а – внешний вид когтевой пластины; б – принципиальная схема нагельного соединения с использованием когтевых шайб

Существующий сортамент когтевых пластин подразумевает различные размеры диаметра, толщины и габаритов когтей в зависимости от необходимой несущей способности. Нагрузка, передающаяся от сдвигаемых элементов соединения, воспринимается суммарной площадью внедренных когтей, через которые передается на другие элементы (рис. 1б). Для того чтобы объективно прогнозировать несущую способность соединений, необходимо получить зависимость способности соединения и факторов, влияющих на нее.

Целью настоящей работы является обзор существующих работ, посвященных соединениям деревянных конструкций, а также формулировка основных направлений исследования для соединений деревянных конструкций на когтевых шпонках.

Среди исследований, посвященных вопросам соединения деревянных конструкций, отмечаются работы В. М. Коченова, В. Г. Леннова, В. А. Цепаева, Г. Г. Никитина, П. А. Дмитриева, О. А. Ласкутовой, В. Н. Шапошникова и др.

В работе Дмитриева П. А. подробно можно проследить теорию расчета соединений на цилиндрических нагелях. В основе расчетов положена теория сопротивления нагельного соединения за счет способности древесины сопротивляться смятию, при достижении предельных значений. Предполагается, что несущая способность смятия нагельного гнезда исчерпывается в тот момент, когда достигаются временные напряжения смятия $R_{см}^{BP}$ или длительные $R_{см}^{дл}$, при которых напряжения на каждом участке смятия одинаковы, а ось нагеля до образования пластического шарнира принимается прямолинейной.

Расчетами многонагельных соединений занимались Шапоников В. Н., Кононов В. А. Характерной чертой многонагельных стыков элементов деревянных конструкций является неравномерное распределение усилий между нагелями, что вызывает перегрузку отдельных нагелей и приводит к снижению несущей способности стыка в расчете на один срез нагеля, а также способствует более быстрому его деформированию под действием

длительных и повторных нагрузок. Предлагаемая Шапошниковым В. Н. [21] методика расчета соединений с учетом неравномерного нагружения нагелей в стыке основывается на методе предельных состояний, теории балок, лежащих на упруго-вязко-пластическом основании. Она позволяет определять нагрузку, действующую на каждый нагель стыка, деформации сдвига между соединяемыми элементами, а также напряженно-деформированное состояние нагелей и древесины соединяемых элементов.

Расчеты несущей способности соединений с учетом неточности сборки были проведены Кононовым В. А. [8]. Им разработана методика расчета многонагельных соединений элементов деревянных конструкций по двум группам предельных состояний, учитывающая конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы. Она основана на использовании кинематических зависимостей при исследовании взаимного смещения соединяемых элементов с представлением о работе нагеля в гнезде, как балки на многослойном основании, промежуточный слой которого ограниченной толщины обладает характеристиками анизотропного упруговязкого пластического тела и располагается на упругом линейно-деформируемом полупространстве – цельной древесине.

Вопросами длительной прочности и деформативности деревянных конструкций с нагельными соединениями известны работы Михайлова Б. К., Шешуковой Н. В. [12, 22]. Авторами предложена методика расчета нагельных соединений, основанная на расчете нагеля как балки, лежащей на неупруго-вязком основании. Основные параметры напряженно-деформированного состояния древесины с учетом влияния влажности и угла наклона волокон древесины определяются из условия прочности.

Изучением вопросов цилиндрических соединителей малых диаметров занимался Пуртов В. В., Павлик А. В. Была рассмотрена прочность древесины при смятии цилиндрическими штампами малых диаметров [16]. Установлены величины расчетных сопротивлений при смятии в отверстиях малых диаметров. Также предложены теоретические предпосылки к расчетам соединений на металлических накладках и дюбелях [13, 15, 17]. Была проведена работа по исследованию влияния длительной нагрузки на несущую способность соединений с металлическими пластинами и зубьями-дюбелями, выявлены границы длительного сопротивления и общие закономерности их распределения, обусловленные величиной и продолжительностью действующей нагрузки [14].

Исследования нагельных соединений деревянных элементов прокладками были изучены Базенковым Т. Н., Гапповым М. М. [2, 4]. Разработана методика расчета нагельных соединений с накладкой, рассчитываемая как балка на вязкоупругом основании с учетом нелинейной работы материала нагеля позволяет определить напряженно-деформируемое состояние нагеля и древесины нагельного гнезда в условиях

кратковременного и длительного нагружения и производить расчет соединений по предельным состояниям.

Испытания соединений с использованием нагельных пластин были проведены Исуповым С. А., Чернявским С. М. [7, 20]. Ими установлены экспериментальные зависимости деформаций соединений от технологических параметров при изготовлении пластин. Разработаны наиболее эффективные габариты пластин. Также были определены коэффициенты, учитывающие снижение жесткости закрепления нагеля на пластине при несимметричном нагружении и возможные технологические несовершенства во время запрессовки. Разработана методика расчета изгибаемых составных стержней на дискретных связях сдвига с учетом их нелинейной работы.

Соединениями на металлических нагельных пластинах занимался также Буров Е. В. [3]. Принимаемая методика, рассматривающая нагель как нелинейно работающий изгибаемый элемент на нелинейно-деформируемом основании и реализованная с помощью вариационно-разностного метода, хорошо согласуется с результатами экспериментов.

Вопросами разработки МЗП занимался Дурновский А. М. [5]. Разработан метод расчета элементов МЗП, позволяющий определять их рациональные геометрические параметры. Теоретически обосновано рациональное расположение зубьев на пластине, исходя из максимальной несущей способности зуба по изгибу и смятию древесины. Дано теоретическое и экспериментальное обоснование работы зубьев МЗП в узлах натуральных размеров, и на основании этого построены графические зависимости для определения коэффициента неравномерности распределения усилий между зубьями при различных длинах пластин и прочностных характеристиках древесины.

Вопросами длительной прочности и деформативности соединений элементов деревянных конструкций на МЗП известны работы Цепаева В. А., Ермолаева В. В. [6, 19]. Предложен метод расчета соединений на МЗП, позволяющий рассчитывать соединения с учетом фактора времени при любых прочностных и декоративных характеристиках древесины и материала пластины. Получены практические формулы для определения расчетной несущей способности зуба пластины в соединениях деревянных конструкций в зависимости от размеров зуба, угла сопряжения элементов, влажности древесины и с учетом повышенной деформативности соединений в условиях длительного нагружения. Установлено значительное влияние влажности древесины на величину длительной прочности соединений на МЗП. Экспериментальные исследования деформаций ползучести соединений на МЗП с разной влажностью древесины ω под расчетной нагрузкой $T_p(\omega)$ позволили установить закономерности их изменения во времени и получить выражение для определения реологической характеристики соединений – характеристики ползучести. В

результате расчета соединений по деформациям с учетом длительности действия на конструкции снеговой и постоянной нагрузок получены выражения для определения величины полных деформаций соединений на МЗП к концу срока службы конструкций.

Разработкой пространственных конструкций с узловыми сопряжениями на МЗП известны работы Котлова В. Г., Крицина А. В., Лоскутовой Д. В. [9, 10, 11]. Выявлено напряженно-деформированное состояние плоской деревянной фермы, пространственного покрытия из перекрестных ферм и складной пространственной фермы треугольного сечения. Исследование конструкций показало, что податливость узловых соединений на МЗП существенно влияет на их напряженно-деформируемое состояние, что требует ее обязательного учета при расчете подобных конструкций. Разработана и предложена методика определения величины фактической податливости узловых соединений на МЗП. Предложены и подтверждены предпосылки к расчету деревянных конструкций по II-й группе предельных состояний. Предлагаемые методики авторов позволяют определять и контролировать узловые деформации и полные прогибы конструкций. На основе полученных экспериментальных данных разработан метод расчета узловых соединений, учитывающий физико-механические свойства древесины в контактном слое с МЗП. Установлено, что при определении напряженно-деформированного состояния деревянных узловых соединений (на МЗП) необходимо учитывать изменение физико-механических свойств древесины в зоне контакта.

Исследования деревянных элементов на шпонках и шайбах за последнее время были проведены: М. В. Арискиным, В. М. Вдовиным, М. С. Галаховым, Б. В. Лабудиным. Арискиным В. М. разработан новый вид клеиметаллического соединения с применением вклеенных в древесину стальных шайб, отличающихся от имеющихся аналогов повышенной несущей способностью и жесткостью [1]. Разработана расчетная модель, и на основе результатов численных вычислений установлены зависимости максимальных нормальных и касательных напряжений, действующих по всему объему образца, от диаметра и толщины шайбы. Путем анализа НДС были установлены безопасные предельно допустимые конструктивные параметры образцов и шаг расстановки шайб в многорядных соединениях.

Стандарт Ассоциации деревянного домостроения [18] предлагает использование формул Eurocode 5 [23], гармонизированных с отечественным опытом проектирования. Но при расчете деревянных конструкций по предельным состояниям должны учитываться жесткости соединений, которые сказываются на распределении усилий между элементами конструкции. Величинами, позволяющими учитывать жесткости таких соединений, были приняты значения модуля жесткости K_{ser} , а при расчете по предельным состояниям эксплуатационной пригодности – K_u . Жесткость крепежного элемента определяется как

отношение нагрузки в плоскости сдвига к его смещению. Для предельных состояний эксплуатационной пригодности необходимо определить предельную деформацию элементов конструкции. Данный метод не позволяет фактически расчетом получить критические значения деформаций, что осложняет его использование.

Несмотря на то, что на сегодняшний день имеется большое количество работ, посвященных изучению нагельных соединений, соединений на МЗП, встречаются работы, посвященные изучению работы шайб, в литературе недостаточно данных об исследованиях напряженного состояния соединений с когтевыми шайбами. Вопрос о работе таких соединений в условиях упругопластической деформации раскрыт недостаточно.

Выводы

На основании проведенного анализа возникает необходимость для разработки методик расчета узловых соединений деревянных конструкций на когтевых шайбах по предельным состояниям второй группы при действии кратковременной и длительной нагрузок, учитывающих изменение механических свойств древесины в зоне контакта с зубцами или нагелем. Выполненный анализ состояния вопроса позволил сформулировать основные направления исследования, включая программу экспериментальных исследований. Программа экспериментов включает: изучение напряженно-деформированного состояния древесины в зоне контакта с когтем шпонки, изучение напряженно-деформированного состояния узловых соединений элементов из древесины на цилиндрических нагелях и когтевых шпонках. А также необходимо получить теоретические зависимости для определения напряжений и деформаций в элементах соединений с когтевыми пластинами с учетом свойств материалов.

Список литературы

1. Арискин, М. В. Совершенствование клеиметаллических соединений деревянных конструкций с применением стальных шайб: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / М. В. Арискин. – Пенза, 2011. – 24 с.
2. Базенков, Т. Н. Нагельные соединения деревянных элементов со стальным и стелопластиковыми прокладками: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Т. Н. Базенков. – М., 1988. – 22 с.
3. Буров, Е. В. Соединения деревянных элементов на нагельных пластинах при кратковременных и длительных нагружениях: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 /Е. В. Буров. – М., 1989. – 25 с.
4. Гаппоев, М. М., Базенков, Т. Н. Исследование работы нагельных соединений с металлическими прокладками // Исследование прочности и эффективности современных конструкций из дерева и пластмасс: Сб. научн. тр. МИСИ. – М., 1987. – С. 45-48.

5. Дурновский, А. М. Разработка и исследование соединений деревянных конструкций МЗП: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – М., 1982. – 22 с.
6. Ермолаев, В. В. Влияние влажности древесины на длительную прочность и ползучесть соединений строительных конструкций на МЗП: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Казань, 2009. – 20 с.
7. Исупов, С. А. Составные строительные элементы на нагельных пластинах для деревянных конструкций: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – М., 1989. – 24 с.
8. Кононов, В. А. Расчет многонагельных соединений деревянных конструкций с учетом неточности их сборки и изготовления элементов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. А. Кононов. – Ленинград, 1988. – 27 с.
9. Котлов, В. Г. Пространственные конструкции из деревянных ферм с узловыми соединениями на МЗП: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Казань, 1992. – 16 с.
10. Крицин, А. В. Расчет сквозных деревянных конструкций на МЗП с учетом упруго-вязких и пластических деформаций: Дисс... канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2004. – 292 с.
11. Лоскутова, Д. В. Прочность и деформативность узловых соединений на МЗП в сквозных деревянных конструкциях: Дисс... канд. техн. наук: 05.23.01. – Томск, 2009. – 189 с.
12. Михайлов, Б.К. Деформирование клееных деревянных конструкций при циклических загрузениях // Совершенствование и расчет строительных конструкций из дерева и пластмасс: Сб. науч. тр. – М., 2001. – С. 5-11.
13. Пуртов, В. В. Легкие деревянные стропильные фермы с соединениями на стельных пластинах и дюбелях: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. В. Пуртов. – Новосибирск, 1989. – 23 с.
14. Пуртов В. В., Прижукова, Е. Л. Исследование соединений деревянных элементов на металлических пластинах с зубьями-дюбелями на действие длительной нагрузки // Известия вузов. Строительство. № 6. – Новосибирск, 2004. – С. 130-135.
15. Пуртов, В. В., Павлик, А. В. К расчету соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках и дюбелях. Сообщение 1 // Известия вузов. Строительство. №5. – Новосибирск, 2007. – С. 96-104.
16. Пуртов, В. В., Павлик, А. В. Работа древесины на смятие в отверстиях малых диаметров. // Известия вузов. Строительство. №5. – Новосибирск, 2005. – С. 106-110.
17. Пуртов, В. В., Павлик, А. В. К расчету соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках и дюбелях. Сообщение 2 // Известия вузов. Строительство. №№ 11–12. – Новосибирск, 2010. – С. 118-127.

18. СТАДД-3.2-2011. Деревянные конструкции. Соединения деревянных элементов с использованием зубчатых пластин. – СПб., 2012. – 40 с.
19. Цапаев, В. А. Исследование длительной прочности и деформативности соединений элементов деревянных конструкций на МЗП: Автореф. дисс... канд. техн. наук. – М., 1982. – 24 с.
20. Чернявский, С. М. Соединения элементов деревянных конструкций на нагелях, закрепленных в металлических пластинах: Автореф. дисс... канд. техн. наук. – М., 1987. – 23 с.
21. Шапошников, В. Н. Особенности работы многонагельных соединений элементов деревянных конструкций и теория их расчета при действии кратковременных, длительных и повторных нагрузок: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Новосибирск, 1983. – 20 с.
22. Шешукова, Н. В. Длительная прочность и деформативность деревянных конструкций на нагельных соединениях / Н. В. Шешукова, Б. К. Михайлов / Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2006. – 169 с.
23. EN 1995-1-1:2004. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие положения. Общие правила расчета и правила расчета для высотных зданий.

Рецензенты:

Серов Е. Н., д-р техн. наук, профессор кафедры конструкций из дерева и пластмасс ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.

Глухих В. Н., д-р техн. наук, профессор кафедры деталей машин и основ инженерного проектирования СПбНИУИТМО «Институт низкотемпературных и пищевых технологий», г. Санкт-Петербург.