

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи
УДК 624.011.1:621.882(043.3)

МАРКЕЧКО
ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**УЗЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИНТОВ,
ВОСПРИНИМАЮЩИХ ОСЕВЫЕ УСИЛИЯ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности
05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

Брест 2025

Работа выполнена в учреждении образования «Брестский государственный технический университет»

Научный
руководитель: **Найчук Анатолий Яковлевич,**
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры строительных конструкций
учреждения образования «Брестский государственный
технический университет», г. Брест

Официальные
оппоненты: **Лазовский Дмитрий Николаевич,**
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры строительных конструкций учреждения
образования «Полоцкий государственный университет
имени Ефросинии Полоцкой», г. Новополоцк

Демчук Игорь Евгеньевич,
кандидат технических наук, начальник отдела
экспериментально-теоретических исследований
строительных конструкций управления научно-
исследовательских и проектно-обследовательских
работ филиала НТЦ РУП «СТРОЙТЕХНОРМ»,
г. Брест

Оппонирующая
организация: Учреждение образования «Гродненский
государственный университет имени Янки Купалы»,
г. Гродно

Защита состоится «03» декабря 2025 г. в 11⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.09.01 при учреждении образования «Брестский государственный технический университет» по адресу: 224017, Республика Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267, ауд. 1/323.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направлять по адресу: 224017, Республика Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267 на имя ученого секретаря совета по защите диссертаций Д 02.09.01, +375 162 32 17 11. E-mail: sf@bstu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Автореферат разослан « » октября 2025 г.

Ученый секретарь совета по
защите диссертаций Д 02.09.01



И.П. Павлова

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее сложных вопросов в проектировании деревянных конструкций является проектирование узловых соединений их элементов, конструктивное решение которых зависит от вида конструкции, ее пролета, используемых материалов и усилий, возникающих в элементах соединения. В последнее время как в Республике Беларусь, так и за рубежом при проектировании узловых соединений элементов деревянных конструкций все чаще используют механические связи в виде стальных винтов, шурупов и шпилек с резьбой (далее винтов), воспринимающих осевые усилия.

Винты используют для соединения изделий (обшивок) из плитных древесных материалов с ребрами плит (панелей), крепления стальных элементов к несущим элементам конструкции, соединения элементов решетки с поясами ферм, крепления связей жесткости к несущим конструкциям. Кроме того, винты используют в качестве элементов усиления с целью повышения сопротивления древесины сжатию поперек волокон опорных площадок элементов конструкций, локального армирования древесины в зонах концентрации напряжений (врезки, подрезки, вырезы), локального армирования коньковых зон двускатных и криволинейных балок из клееной древесины, а также участков деревянных арок, где возникают растягивающие поперек волокон древесины напряжения. Использование винтов в узловых соединениях элементов деревянных конструкций позволяет уменьшить влияние пороков древесины, таких как сучки, свилеватость и косослой, на их несущую способность, а по сравнению с клееными стержнями – сократить сроки изготовления и монтажа конструкции. Вместе с тем, накопленный опыт проектирования и строительства зданий с использованием деревянных конструкций с узловыми соединениями на винтах показывает, что их применение ограничено из-за отсутствия в нормативных документах ряда рекомендаций по расчету, особенно это касается винтов, диаметры которых менее 6 мм и более 12 мм, а также рекомендаций по проверке устойчивости сжатых винтов, установленных в массиве древесины элемента конструкции. Наличие данных недостатков в действующих нормативных документах является одним из сдерживающих факторов расширения области применения деревянных конструкций и как следствие одной из причин образования повреждений в узловых соединениях элементов в процессе эксплуатации и сокращения их долговечности. Отмеченные выше обстоятельства определяют актуальность темы диссертационной работы, ее научную и практическую значимость.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами и темами. Исследования выполнялись в учреждении образования «Брестский государственный технический университет» согласно Перечню работ по техническому нормированию и стандартизации Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь на 2017 г. (шифр 2.5.05.35 «Разработать Изменение № 2 ТКП EN 1995-1-1-2009 «Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий») и Перечню работ по техническому нормированию и стандартизации Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь на 2018 г. (шифр 1.5.05.12 «Разработать Изменение № 2 ТКП EN 1995-1-1-2009 «Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий»).

Цель и задачи исследования

Цель исследования: разработать, научно обосновать и внедрить в практику проектирования деревянных конструкций методику расчета и конструирования узловых соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия.

Задачи исследования:

- выполнить анализ научно-технической литературы, в которой представлены технические параметры винтов, а также результаты экспериментальных и теоретических исследований и разработанные на их основе модели по определению несущей способности соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия, выявить основные недостатки и ограничения существующих расчетных моделей, сформулировать основные положения по их совершенствованию;
- разработать и экспериментально проверить численную модель, применяемую для определения объемного напряженного состояния древесины в зоне анкеровки винта, установленного в элементе соединения, позволяющую учитывать анизотропию свойств древесины и нарушение контакта между поверхностями древесины и винта;
- провести численные (параметрические) исследования и установить закономерности изменения напряженного состояния древесины в зоне анкеровки винта, воспринимающего осевое усилие, в зависимости от угла наклона α продольной оси винта к направлению волокон древесины, его наружного диаметра d резьбы¹ и расчетной длины $l_{ef,1}$ анкеровки;
- разработать методику экспериментального определения сопротивления выдергиванию из древесины элемента соединения винта, установленного под углом α ;

¹ Далее – угол наклона α , диаметр d винта

– провести статические испытания образцов по определению характеристических значений параметра прочности древесины $f_{ax, \alpha, k}$ и сопротивления $F_{ax, \alpha, k}$ выдергиванию из древесины элемента соединения винта диаметром $3 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ и $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$, установленного под углом α , разработать соответствующие расчетные модели;

– разработать и экспериментально подтвердить расчетную модель сопротивления $N_{cl, Rd}$ потере устойчивости сжатого винта, установленного в древесине элемента конструкции, позволяющую учитывать условия закрепления головки винта, закон распределения сжимающего усилия по длине его анкеровки и ползучесть древесины;

– на основании обобщения результатов, полученных при проведении собственных исследований, а также результатов других авторов, разработать обобщенные рекомендации по расчету и конструированию соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия, и внедрить их в практику проектирования деревянных конструкций.

Объект исследования: узловые соединения элементов деревянных конструкций с использованием винтов.

Предмет исследования: напряженное состояние и несущая способность узловых соединений элементов деревянных конструкций.

Научная новизна

1. Впервые получены закономерности изменения объемного напряженного состояния древесины, расположенной в зоне анкеровки винта, установленного в элементе соединения под углом α , в зависимости от его диаметра d , расчетной длины $l_{ef, l}$ анкеровки и нарушения контакта между поверхностями древесины и винта, позволяющие учитывать анизотропию упругих свойств древесины и интерпретировать изменение значений параметра прочности $f_{ax, \alpha}$ древесины в соединении с винтом, воспринимающим осевое усилие растяжения.

2. Новые расчетные зависимости для определения параметра прочности $f_{ax, \alpha}$ древесины в соединении с винтом, а также модель сопротивления $F_{ax, \alpha}$ выдергиванию из древесины элемента соединения винта диаметром $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ и $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$, установленного под углом α , позволяющая учитывать изменение величины диаметра d и расчетной длины $l_{ef, l}$ его анкеровки.

3. Модифицированная расчетная модель сопротивления $N_{cl, Rd}$ потере устойчивости сжатого винта, установленного в древесине элемента конструкции под углом 90° к направлению волокон, учитывающая условия закрепления головки, закон распределения сжимающего усилия по длине анкеровки, а также ползучесть древесины.

4. Научно обоснована и экспериментально подтверждена методика расчета и конструирования соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия, позволяющая учитывать величину изменения диаметра d винта от 3,5 мм до 20 мм, расчетной длины l_{ef} его анкеровки в древесине элемента соединения и угол наклона α .

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований объемного напряженного состояния древесины, расположенной в зоне анкеровки винта, установленного в элементе соединения под углом α в зависимости от величины его диаметра d , расчетной длины $l_{ef,l}$ анкеровки, нарушения контакта между поверхностями древесины и винта, позволяющие выявить основные факторы, влияющие на значение параметра $f_{ax, \alpha}$ прочности древесины в соединении с винтом при его выдергивании, разработанные рекомендации по предотвращению разрушения древесины в зоне обрыва анкеровки винта, вызванного растяжением древесины поперек волокон.

2. Методика и результаты статических испытаний образцов соединений с винтами диаметрами $3 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ и $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$, установленными под углом α , разработанные на их основе зависимости для определения характеристического значения параметра прочности $f_{ax, \alpha, k}$ древесины в соединении с винтом и новая расчетная модель сопротивления $F_{ax, \alpha, k}$ выдергиванию из древесины элемента соединения винта, позволяющая учитывать изменение величины его диаметра d , расчетной длины $l_{ef,l}$ анкеровки и угла α .

3. Результаты численных исследований устойчивости сжатого винта, установленного в древесине элемента конструкции под углом 90° к направлению волокон, разработанная на их основе модифицированная расчетная модель сопротивления потере устойчивости сжатого винта, учитывающая условия закрепления головки винта, закон распределения сжимающего усилия по длине его анкеровки, ползучесть древесины и данные ее экспериментальной проверки.

4. Рекомендации по конструированию и расчету соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия, и внедренные результаты исследований в практику проектирования деревянных конструкций.

Личный вклад соискателя ученой степени. Положения, выносимые на защиту, результаты теоретических и экспериментальных исследований были получены соискателем самостоятельно под руководством доктора технических наук, доцента Найчука А.Я., который определял направления исследований, их цели и задачи, принимал участие в обсуждении и анализе полученных результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные положения, выносимые на защиту, и выводы диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих международных конференциях и семинарах: XIX Международный научно-методический семинар «Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров», г. Брест, 23-25 октября 2014 г.; Международная научно-практическая конференция «Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации», г. Новополоцк, 29-30 апреля 2021 г.; VI Международная научно-техническая конференция «Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве», г. Брест, 23 ноября 2023 г.; V Международная научно-техническая конференция «International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering» (MPCPE-2024), г. Владимир, 23-25 апреля 2024 г.; Международная научно-практическая конференция «Инженеры России и Беларуси: сила в сотрудничестве», г. Архангельск, 15-16 октября 2024 г.; VI Международная научно-техническая конференция «International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering» (MPCPE-2025), г. Владимир, 28-30 апреля 2025 г.

Результаты научных исследований использованы при разработке СП 299.1325800.2017 Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования. Свод правил; Изменения № 1 СП 5.05.01-2021 Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования, а также внедрены в учебный процесс учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Опубликование результатов диссертации. Основные положения диссертации опубликованы в 15 печатных работах, из них: 9 статей в рецензируемых научных журналах, отвечающих требованиям пункта 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 3,94 авторских листов; 5 статей в сборниках конференций общим объемом 1,94 авторских листа; 1 статья в журнале-справочнике объемом 0,38 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит разделы: «Введение», «Общая характеристика работы», 5 глав основной части, «Заключение», «Список использованных источников» и 5 приложений. Объем диссертации составляет 216 страниц. Работа содержит 65 рисунков на 34 страницах, 22 таблицы на 20 страницах, список использованных источников (92 наименования использованных источников, 15 публикаций соискателя) на 11 страницах, 5 приложений на 52 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первая глава содержит аналитический обзор научно-технической литературы, посвященной использованию винтов, воспринимающих осевые усилия, в узловых соединениях элементов деревянных конструкций; выявлению закономерностей изменения параметра прочности $f_{ax, \alpha}$ древесины в соединении с винтом в зависимости от величины его диаметра d , расчетной длины $l_{ef, l}$ анкеровки и угла α ; разработке моделей сопротивления винта выдергиванию из древесины элемента соединения; разработке моделей сопротивления потере устойчивости сжатого винта, установленного в древесине элемента конструкции; методам оценки несущей способности узловых соединений с винтами, а также проверке их предельных состояний, принятых в нормативных документах.

На основании анализа конструктивных решений узловых соединений было установлено, что винты диаметром $3 \text{ мм} \leq d < 6 \text{ мм}$ используют в соединениях элементов из пиломатериалов с элементами из плитных материалов, диаметром $d \geq 12 \text{ мм}$ – в соединениях элементов из клееной древесины, диаметром $8 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$ – для усиления опорных площадок деревянных конструкций, а диаметром $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ – для локального армирования древесины элементов конструкций в зоне концентрации напряжений.

Наиболее распространенной моделью оценки несущей способности винта при выдергивании из древесины элемента соединения, является модель, предложенная *Blaß H.J.* Данная модель была разработана на основе регрессионного анализа большого числа экспериментальных данных, полученных при испытании образцов с винтами $6 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$ и отношением внутреннего диаметра d_1 резьбы к наружному диаметру d $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$, которая используется как в отечественных, так и в зарубежных нормативных документах. Что же касается винтов с другими техническими параметрами, то для определения их несущей способности необходимо проведение экспериментальных исследований. Таким образом, принятые в нормативных документах модели несущей способности винтов не охватывают винтов диаметром $d < 6 \text{ мм}$ и $d > 12 \text{ мм}$, несмотря на применение их в соединениях элементов деревянных конструкций.

Установлено, что для сжатых винтов, расположенных в древесине элемента узлового соединения, сопротивление вдавливанию, рассчитывается с использованием той же модели, что и для винтов, воспринимающих растягивающие усилия. Кроме того, при проверке предельных состояний несущей способности узлового соединения с винтами, воспринимающими сжимающие усилия, одним из условий является проверка устойчивости винтов,

установленных в массиве древесины элемента. Относительно данной проверки в отечественных и зарубежных документах каких-либо рекомендаций не имеется.

На основании результатов выполненного анализа сформулирована цель работы и определены задачи, решения которых необходимы для ее достижения.

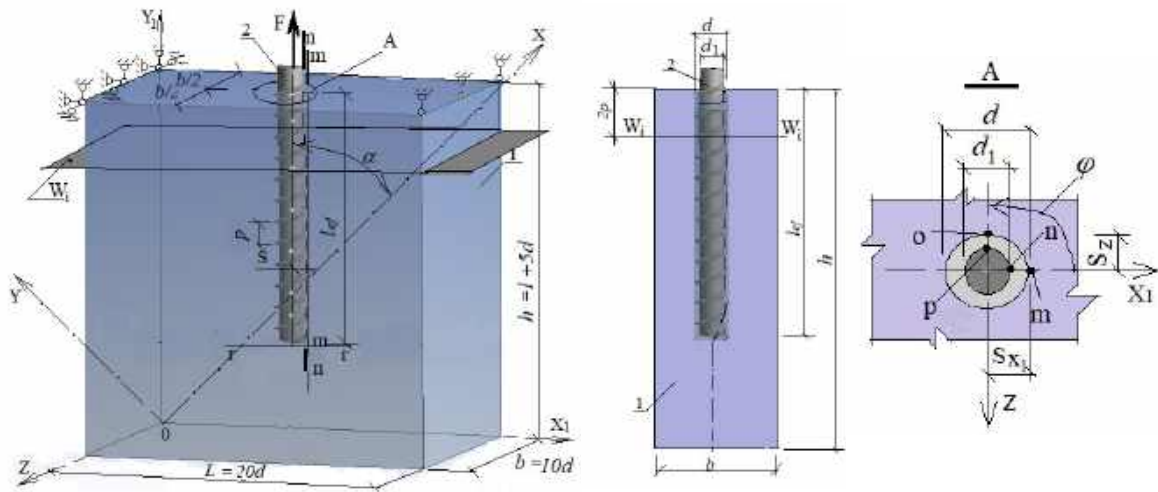
Вторая глава посвящена численному (параметрическому) исследованию объемного напряженного состояния древесины элемента соединения в зоне установки винта, воспринимающего осевое усилие растяжения, с учетом нарушения контакта между поверхностями древесины и винта в зависимости от угла α , величины диаметра d и расчетной длины $l_{ef,l}$ анкеровки, а также исследованию напряженного состояния винта, воспринимающего осевое усилие сжатия. Для решения данной задачи была разработана конечно-элементная модель (КЭ-модель) соединения, представляющая собой твердые трехмерные тела ограниченных размеров, где одному из тел присваивались свойства ортотропного материала (древесины), а второму – свойства изотропного материала (стали).

Валидацию КЭ-модели соединения винта с элементом из древесины выполняли путем сопоставления результатов собственных экспериментальных исследований напряженного состояния древесины в зоне установки винта в элементе соединения с результатами расчета по методу конечных элементов. Рассчитанные напряжения, возникающие в древесине элемента соединения, имели одинаковый характер распределения, а расхождение между экспериментальными и численными значениями составило 5-15%. Таким образом, принятая КЭ-модель соединения винта с элементом из древесины адекватно отражала его действительную работу и была использована при численном исследовании напряженного состояния древесины, расположенной в зоне анкеровки винта.

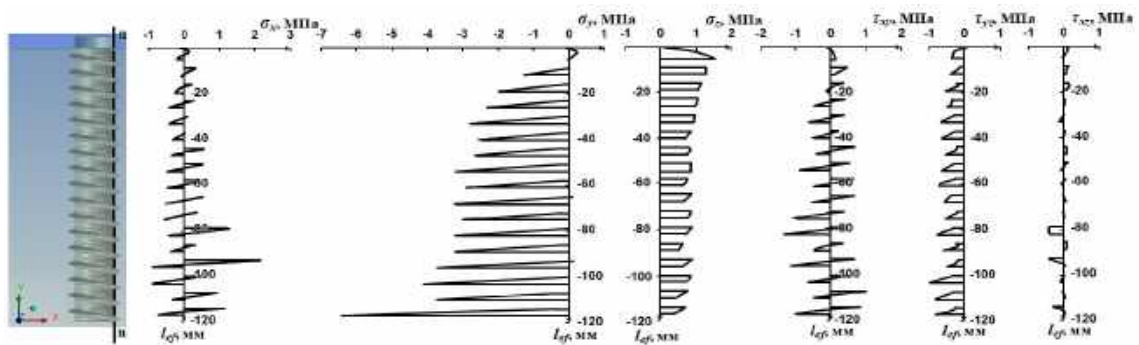
Для оценки напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом расчетной длиной $l_{ef,l}$ был выполнен анализ распределения напряжений, действующих в локальной системе координат XYZ в точках, расположенных на линиях, параллельных глобальной оси Y_1 , которые принадлежали плоскостям X_1OY_1 и Y_1OZ соответственно (рисунок 1, а). Напряжения рассматривались в точках, расположенных по линиям « $m-m$ », « $n-n$ », « $p-p$ » и « $o-o$ ». Расстояние S от продольной оси винта до рассматриваемых линий в направлении осей X_1 и Z принимали равными $S_{X1} = S_Z = d_l$ и d (рисунок 1, а). Значение усилия F , прикладываемое к винту, назначалось из предположения равно-

мерного распределения напряжений сдвига $\tau = 2$ МПа по поверхности контакта нарезной части винта с древесиной.

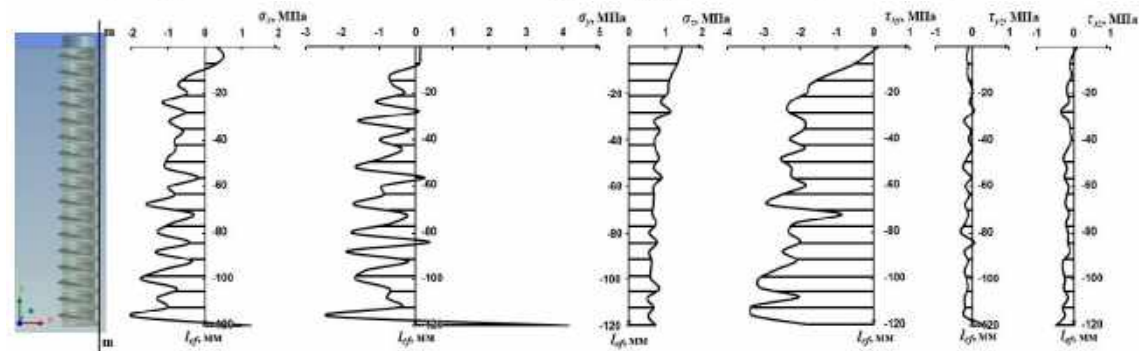
а)



б)



в)



1 – древесина; 2 – винт из стали; « W_i » – секущая плоскость;

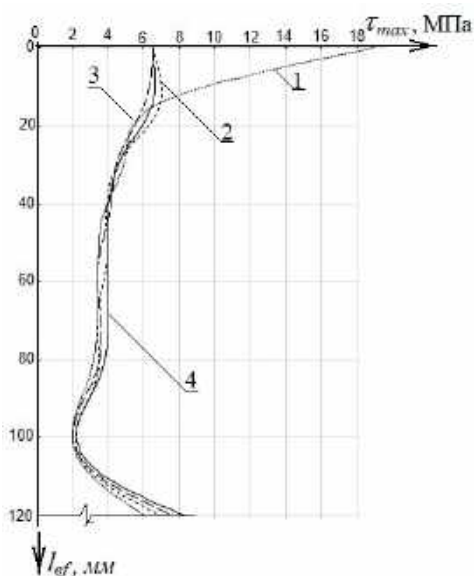
а) – расчетная схема модели соединения;

б) – в точках по линии «n-n»; в) – в точках по линии «m-m»

Рисунок 1 – Расчетная схема модели соединения и распределения напряжений в древесине для винта $d = 20$ мм при длине анкеровки $l_{ef,1} = 120$ мм и $\alpha = 60^\circ$

В результате численных (параметрических) исследований было установлено, что в древесине, расположенной в зоне анкеровки растянутого винта, возникает сложное неоднородное напряженное состояние с ярко выраженной концентрацией всех компонент напряжений (рисунок 1, б). Учитывая, что предельное состояние узлового соединения обусловлено в основном, перерезыванием волокон, целесообразным являлось определение и анализ

значений максимальных касательных τ_{max} напряжений. Значения τ_{max} определяли в плоскостях W_i (рисунок 1, а), перпендикулярных оси Y_I , интервал между которыми, начиная от верхней поверхности элемента 1, принимался равным двойному шагу p резьбы. Такое расположение секущих плоскостей позволило обосновано выполнить сопоставление значений напряжений τ_{max} и выявить закономерности их изменения в зависимости от угла α для соответствующих значений d и $l_{ef,1}$.



1 – при $\alpha = 90^\circ$; 2 – при $\alpha = 60^\circ$;
3 – при $\alpha = 45^\circ$; 4 – при $\alpha = 30^\circ$

Рисунок 2 – Распределение максимальных касательных напряжений τ_{max} в древесине по длине анкеровки для винтов $d=20$ мм при отношении $l_{ef,1} / d = 6$ в зависимости от угла α

В результате анализа распределения касательных напряжений τ_{max} (рисунок 2), возникающих в древесине по длине $l_{ef,1}$, было установлено, что максимальных значений они достигают в точках плоскостей W_i , находящихся ближе к поверхности входа винта в элемент древесины. Это свидетельствует о том, что начало разрушения соединения будет происходить в указанной зоне, вызывая перераспределение усилий сдвига на нижерасположенные по длине $l_{ef,1}$ слои древесины, не приводя к мгновенному разрушению соединения, а только увеличивая его податливость, т.е. разрушение древесины (контакта) в точке не приводит к мгновенному разрушению соединения.

Исследуя напряженное состояние древесины элемента соединения с винтом диаметром $d \geq 8$ мм, длиной $l_{ef,1} < 0,6h$, установленным поперек волокон и воспринимающим усилие растяжения, было установлено, что в древесине, расположенной в зоне обрыва анкеровки винта, возникают растягивающие поперек волокон напряжения σ_y , которые должны учитываться при конструировании узловых соединений. При длине анкеровки $l_{ef,1} \geq 0,6h$ винтов, напряжениями σ_y можно пренебречь из-за незначительности их величин.

В результате анализа напряженного состояния древесины, расположенной в зоне анкеровки растянутого винта диаметром $3 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ и $4 \leq l_{ef,1}/d \leq 15$, установленного под углом α , было выявлено, что значение параметра прочности $f_{ax,\alpha}$ древесины зависит от величины его диаметра d и отношения $l_{ef,1}/d$, а для винтов $6 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$ и $6 \leq l_{ef,1}/d \leq 20$ – от величины

их диаметра d , отношения $l_{ef,1}/d$ и угла α . Что же касается соединений с винтами $14 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и $6 \leq l_{ef}/d \leq 20$, то значение $f_{ax,\alpha}$ зависит только от величины отношения $l_{ef,1}/d$.

При решении задачи по определению напряженного состояния сжатого винта, установленного поперек волокон древесины элемента конструкции, была использована КЭ-модель, принятая для соединений с винтами, воспринимающими усилие растяжения. В результате параметрических исследований и анализа напряженного состояния винта было установлено, что продольное усилие $N_{y,max}$ достигает максимальных значений в сечении, расположенном у входа винта в массив древесины элемента конструкции, и по мере удаления от поверхности – уменьшается, достигая нуля в зоне обрыва анкеровки. Кроме того, независимо от длины $l_{ef,2}$ анкеровки винта эпюра распределения по длине сжимающего усилия $N_{y,i}$ имеет форму треугольника.

Таким образом, при решении задачи устойчивости винта с полной резьбой, установленного в древесине элемента конструкции и воспринимающего осевое сжимающее усилие, распределение продольного усилия N_y по его длине следует принимать по треугольнику.

Третья глава посвящена решению задачи устойчивости центрально-сжатого стального винта, установленного поперек волокон в древесине элемента конструкции, и разработке алгоритма определения расчетного значения его сопротивления $N_{cl,Rd}$ потере устойчивости.

Для решения задачи устойчивости сжатого стального винта был применен метод конечных разностей, где винт рассматривался как центрально-сжатый стержень, связанный с упругим основанием. В ходе решения задачи были рассмотрены случаи потери устойчивости винта с постоянной изгибной жесткостью при различных законах распределения сжимающего усилия по длине зоны его анкеровки и следующими способами опирания (граничных условий): шарнирно-подвижные закрепления и шарнирное закрепление одного конца и скользящая заделка другого. В результате выполненных исследований были получены значения коэффициентов μ для определения расчетной длины, которые определяются по формулам:

– при шарнирно-подвижном закреплении или скользящей заделке головки винта и прямоугольной форме эпюры распределения продольной силы по его длине

$$\mu_1 = \mu_2 = 1,85 \cdot R^{-0,24}, \quad (1)$$

где μ_1 – коэффициент для определения расчетной длины в случае шарнирно-подвижного закрепления головки винта; μ_2 – коэффициент для определения расчетной длины в случае скользящей заделки головки винта;

– при шарнирно-подвижном закреплении головки винта и треугольном распределении продольного усилия по его длине

$$\mu_3 = 3,22 \cdot R^{-0,25}; \quad (2)$$

– при скользящей заделке головки винта и треугольном распределении продольного усилия по его длине

$$\mu_4 = 1,65 \cdot R^{-0,23}, \quad (3)$$

где R – безразмерный параметр жесткости упругого основания, определяемый по формуле

$$R = \frac{c}{EI} \cdot L^4, \quad (4)$$

здесь c – коэффициент постели упругого основания, Н/м²; EI – изгибная жесткость винта, Н·м²; L – длина анкеровки винта в древесине элемента конструкции, м.

Поскольку значения коэффициентов μ для определения расчетной длины (1) – (3) зависят от коэффициента постели c , величина которого определяется как отношение действующей перпендикулярно продольной оси винта погонной нагрузки к значению перемещения в данном направлении, то при учете ползучести древесины оно должно быть откорректировано. Учитывая данное обстоятельство, полное значение коэффициента постели c_{fin} с учетом ползучести древесины определяется по формуле

$$c_{fin} = \frac{c_{inst}}{1 + k_{def}}, \quad (5)$$

где c_{inst} – коэффициент постели от кратковременного действия нагрузки, определяемый из эксперимента или по формуле (14) [9], Н/мм²; k_{def} – коэффициент ползучести древесины, значение которого принимается для соответствующего класса эксплуатации согласно СП 5.05.01.

Для определения сопротивления $N_{cl,R}$ потере устойчивости винта используется модель, разработанная для центрально-сжатых элементов постоянного сечения в ТКП EN 1993-1-1, которая должна быть откорректирована с учетом ползучести древесины. Следует отметить, что все корректировки по учету ползучести древесины должны учитываться при определении характеристического значения сопротивления $N_{cl,Rk}$ потере устойчивости сжатого винта. Тогда алгоритм определения расчетного значения сопротивления $N_{cl,Rd}$ потере устойчивости может быть представлен в следующем виде:

– с использованием формулы (5) определяют полное значение коэффициента постели c_{fin} ;

– рассчитывают значение безразмерного параметра R^* жесткости упругого основания с учетом полного значения коэффициента постели c_{fin}

$$R^* = \frac{c_{fin}}{EI} \cdot L^4; \quad (6)$$

– по формулам (1) – (3) с учетом R^* определяют значение коэффициента μ_{fin} при соответствующих граничных условиях винта и законе распределения продольного усилия по его длине;

– используя модель, разработанную для центрально-сжатых элементов постоянного сечения в ТКП EN 1993-1-1, определяют расчетное значение сопротивления $N_{cl,Rd}$ потере устойчивости сжатого стального винта, установленного поперек волокон древесины в элементе конструкции, с учетом ползучести древесины.

В результате сопоставления характеристических значений сопротивления $N_{cl,Rk}$ потере устойчивости сжатого винта, полученных по модифицированной модели и модели, предложенной в работе других авторов (*Blaß H.J., Bejtka I.*), установлено, что при соответствующих граничных условиях закрепления винта и установленном законе распределения сжимающего усилия по длине его анкеровки расхождения составляют 10 – 22%. Выявленные здесь различия в значениях $N_{cl,Rk}$ можно объяснить погрешностью численных расчетов, а полученные результаты при определении коэффициента μ расчетной длины – достоверны. В результате выполненных расчетов с использованием модифицированной модели сопротивления было установлено, что увеличение длины анкеровки $l_{ef,2}$ винта более $10d$ не сказывается на величине его сопротивления $N_{cl,R}$ потере устойчивости. Повышение сопротивления $N_{cl,R}$ может быть достигнуто за счет увеличения плотности древесины или диаметра винта, замене шарнирно-подвижного закрепления на скользящую заделку.

В четвертой главе изложены методики проведения и результаты экспериментальных исследований образцов соединений винта, воспринимающего осевое усилие растяжения, с элементом из древесины, по определению закономерностей изменения характеристического значения параметра $f_{ax, \alpha, k}$ прочности древесины и характеристического значения сопротивления $F_{ax, \alpha, Rk}$ выдергиванию винта в зависимости от его диаметра d , расчетной длины $l_{ef,2}$ анкеровки и угла α , а также по определению сопротивления $N_{cl, \alpha, R}$ потере устойчивости сжатого винта, установленного поперек волокон древесины, и сопоставлению полученных результатов со значениями, рассчитанными с использованием модифицированной модели.



Для экспериментального определения параметра $f_{ax, \alpha}$ и сопротивления $F_{ax, \alpha, R}$ было изготовлено и испытано две серии образцов (рисунок 3, а). В первую серию включались образцы с винтами $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ и $3,83 \leq l_{ef,1}/d \leq 8$, установленными под углом $\alpha = 90^\circ$ к волокнам, а во вторую – с винтами $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и $6 \leq l_{ef,1}/d \leq 20$, установленными под углом $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Испытания образцов проводилось в соответствии с разработанной методикой, приведенной в [8, с. 37 – 41]. Всего было испытано 260 образцов, в том числе образцов первой серии 80, а второй – 180.

В результате выполненных испытаний образцов первой серии и статистической обработки полученных данных в соответствии с *СТБ EN 14358-2009* были рассчитаны характеристические значения параметра прочности $f_{ax,90,k}$. Проанализировав полученные значения $f_{ax,90,k}$, было установлено, что они зависят от величины диаметра d винта, расчетной длины $l_{ef,1}$ и характеристического значения плотности ρ_k древесины элемента соединения и описываются следующей моделью

$$f_{ax,90,k} = 9,33 \cdot f_{v,k} \cdot k_l \cdot k_d \cdot k_\rho, \quad (7)$$

где $f_{v,k} = 2,4 \text{ МПа}$ – характеристическое значение прочности древесины с плотностью $\rho_k = 340 \text{ кг/м}^3$ при сдвиге вдоль волокон, что соответствует классу прочности пиломатериала С22; k_l , k_d и k_ρ – коэффициенты, учитывающие изменение $f_{ax,90,k}$ в зависимости от длины анкеровки винта, его диаметра и ха-

рактического значения плотности древесины соответственно, определяемые по формулам

$$k_l = 1,25 - 0,081 \cdot l_{ef,1} / d + 0,004 \cdot (l_{ef,1} / d)^2, \quad (8)$$

$$k_d = 1,27 - 0,266 \cdot d / d_a, \quad (9)$$

$$k_\rho = \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}, \quad (10)$$

здесь $d_a = 3,5$ мм – наружный диаметр резьбы винта, мм; ρ_a – базовое характеристическое значение плотности древесины, равное 340 кг/м^3 .

На основании результатов испытаний образцов второй серии было установлено, что для рассмотренного интервала изменения величины диаметра d и угла α значение параметра прочности $f_{ax, \alpha, k}$ древесины в соединении с винтом зависит только от величины отношения $l_{ef,1}/d$ и плотности ρ_k древесины элемента соединения. Данная зависимость описывается следующей моделью

$$f_{ax, \alpha, k} = 2,74 \cdot f_{v, g, k} \cdot k_l \cdot k_\rho, \quad (11)$$

где $f_{v, g, k} = 3,5$ МПа – характеристическое значение прочности клееной древесины на сдвиг вдоль волокон при плотности древесины $\rho_k = 340 \text{ кг/м}^3$, что соответствует классу прочности GL20h; k_l – коэффициент, учитывающий изменение $f_{ax, \alpha, k}$ в зависимости от длины анкеровки винта, значение которого определяется по формуле

$$k_l = 0,6521 + 0,0675 \cdot (l_{ef,1} / d) - 0,0022 \cdot (l_{ef,1} / d)^2; \quad (12)$$

k_ρ – коэффициент, учитывающий изменение $f_{ax, \alpha, k}$ в зависимости от характеристического значения плотности древесины, определяемый по формуле (10).

На основании выявленных зависимостей $f_{ax, \alpha, k}$ характеристическое значение сопротивления $F_{ax, \alpha, k}$ выдергиванию из древесины элемента соединения винта диаметром $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ и $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ определяется по формуле

$$F_{ax, \alpha, Rk} = f_{ax, \alpha, k} \cdot l_{ef,1} \cdot d. \quad (13)$$

При определении сопротивления $N_{cl, \alpha, R}$ потере устойчивости сжатого винта, установленного поперек волокон древесины, и сопоставления полученных результатов со значениями, рассчитанными с использованием модифицированной модели, было изготовлено и испытано две серии опытных образцов по 5 образцов в каждой (рисунок 3, б). В образцах первой серии

расчетная длина $l_{ef,2}$ анкеровки составляла 182,2 мм, а во второй – 380,2 мм. Наружный диаметр резьбы стального винта во всех образцах $d = 11$ мм. Винт устанавливался в элемент из клееной древесины. Значение коэффициента постели, упругие характеристики материала винта и испытания образцов осуществлялись в соответствии с методикой, приведенной в [9, с. 41 – 46].

На основании результатов, полученных при испытании опытных образцов на вдавливание винта в элемент из клееной древесины, а также сопоставления их значений со значениями известных авторов (*Blaß H.J., Bejtka I.*) было установлено: при длине анкеровки $l_{ef,2} \geq 15d$ характеристическое значение сопротивления $N_{cl,Rk}$ потере устойчивости сжатого винта не зависит от его длины, а зависит от плотности древесины и модуля упругости материала винта (стали), что подтверждает результаты численных исследований; характеристические значения сопротивления $N_{cl,Rk}$ потере устойчивости сжатого винта, определенные из эксперимента на 11,5 % выше значений, рассчитанных с использованием модифицированной модели, что является приемлемым при решении задач устойчивости. Таким образом, значения коэффициентов μ для определения расчетной длины, полученные в результате численного решения задачи устойчивости сжатого винта, являются обоснованными, а предложенная модифицированная модель сопротивления винта – достоверной.

В пятой главе представлены рекомендации по расчету и конструированию узловых соединений элементов деревянных конструкций с винтами, воспринимающими осевые усилия. Разработанные рекомендации базируются на методике расчета основанной на обобщении как собственных результатов исследований, так и правил установленных в действующих нормативных документах, учитывающей особенности напряженного состояния древесины элемента соединения в зоне анкеровки растянутых винтов диаметром $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и углом наклона $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, а для сжатых винтов – потерю устойчивости с учетом условий закрепления головки винта, закона распределения сжимающего усилия по длине его анкеровки и ползучесть древесины. Согласно данной методике при проверке предельного состояния несущей способности соединения с винтами, воспринимающими осевое растягивающее усилие и установленными под углом α к направлению волокон при их выдергивании из древесины, вызванного внешним воздействием F_{Ed} , должно соблюдаться условие

$$F_{Ed} \leq F1_{ax,\alpha,Rd} \cdot n_{ef} \quad , \quad (14)$$

где $F1_{ax,\alpha,Rd}$ – расчетное значение несущей способности винта в соединении элементов конструкции при его выдергивании из древесины под углом α к направлению волокон, Н, определяемое по формуле (15); n_{ef} – расчет-

ное число винтов в узловом соединении элементов конструкции, определяемое согласно СП 5.05.01

$$F1_{ax,\alpha,Rd} = \frac{F1_{ax,a,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}, \quad (15)$$

где $F1_{ax,\alpha,Rk}$ – характеристическое значение несущей способности винта в соединении элементов конструкции при его выдергивании из древесины под углом α к направлению волокон, Н, определяемое для винтов наружным диаметром резьбы $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и отношением $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$ по формуле (16); k_{mod} – коэффициент модификации, значение которого принимают в соответствии с действующими нормативными документами; γ_M – частный коэффициент свойств материала, значение которого принимают в соответствии с действующими нормативными документами.

$$F1_{ax,\alpha,Rk} = F_{ax,\alpha,Rk}, \quad (16)$$

где $F_{ax,\alpha,Rk}$ – характеристическое значение сопротивления выдергиванию из древесины элемента соединения винта, Н, для винтов наружными диаметром резьбы $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ и $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и отношении d_1/d от 0,6 до 0,75 и угле $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, определяется по формуле (13) с использованием формул (7) и (11) соответственно, а для винтов $6 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$ – согласно действующим нормативным документам.

При конструировании узловых соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов $d \geq 10 \text{ мм}$, установленных под углом α к волокнам, должно соблюдаться условие $l_{ef,2} \cdot \sin \alpha \geq 2/3h$, где h – высота поперечного сечения элемента соединения, в котором установлены винты. Если данное условие не соблюдается, то указанная зона должна быть локально усилена посредством дополнительной установки винтов с полной резьбой таким образом, чтобы длина их взаимного перекрытия не была меньше $10d$.

Для сжатых винтов длиной анкеровки $l_{ef,2} \geq 10d$, установленных под углом $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ к волокнам древесины элемента конструкции должна выполняться проверка по обеспечению их устойчивости

$$N_{c,\alpha,Ed} \leq N1_{cl,\alpha,Rd} \cdot n_{ef}, \quad (17)$$

где $N_{c,\alpha,Ed}$ – расчетное значение сжимающего усилия, действующего на винты, установленные под углом α , Н; $N1_{cl,\alpha,Rd}$ – расчетное значение несущей способности сжатого винта, установленного под углом α , определяемое из условия обеспечения его устойчивости с учетом ползучести древесины, Н, определяемое по формуле (18).

$$N1_{cl,\alpha,Rd} = \frac{N1_{cl,\alpha,Rk}}{\gamma_{M1}}, \quad (18)$$

где $N1_{cl, \alpha, Rk}$ – характеристическое значение несущей способности винта при осевом сжатии, установленного в древесине элемента конструкции под углом α к направлению волокон, определенное из условия обеспечения его устойчивости по формуле (19), Н; γ_{M1} – частный коэффициент свойств материала, принимаемый по *ТКП EN 1993-1-1*.

$$N1_{cl, \alpha, Rk} = N_{cl, \alpha, Rk}^* \quad , \quad (19)$$

где $N_{cl, \alpha, Rk}^*$ – характеристическое значение сопротивления потере устойчивости сжатого винта, установленного под углом α к волокнам древесины в элементе конструкции, определяемое с учетом ползучести древесины, условий закрепления головки винта и закона распределения сжимающего усилия по его длине, используя формулы (1) – (6).

При конструировании узловых соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих усилия сжатия, кроме правил, установленных в действующих нормативных документах, необходимо соблюдать следующие рекомендации: минимальная длина анкеровки винтов в древесине элемента конструкции должна составлять не менее $10d$, но не более $25d$; в узловом соединении элементов конструкции и усилении опорных площадок используют винты одного диаметра и длины нарезанной части резьбы; число винтов в одном ряду не должно быть менее двух, а число рядов как вдоль, так и поперек волокон не должно быть менее двух.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Результаты экспериментальных и численных исследований напряженного состояния древесины элемента соединения в зоне контакта с винтом, воспринимающим осевое растяжение, позволили обосновать достоверность принятой численной модели по определению объемного напряженного состояния элементов соединения, выявить и установить факторы, влияющие на изменения параметра прочности древесины в соединении с винтом, прочности древесины в зоне обрыва анкеровки винтов, и разработать модели сопротивления винтов при их выдергивании из древесины элемента соединения [1, с. 129 – 130; 2, с. 296 – 298; 3, с. 94 – 95; 5, с. 85 – 86; 6; 7, с. 30 – 31; 10, с. 281 – 282; 11; 15, с. 23].
2. Научно обоснована и экспериментально подтверждена новая расчетная модель сопротивления винта выдергиванию из древесины элемента соединения наружным диаметром d резьбы от 3,5 мм до 5 мм, установленным поперек волокон, а также винта наружным диаметром d резьбы от 16 мм до 20 мм, установленным под углом α от 30° до 90° , позволяющая выполнять проверку предельных состояний несущей способности узловых соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов указанных технических параметров [8, с. 36 – 40; 13; 14].
3. Научно обоснована и экспериментально подтверждена модифицированная расчетная модель сопротивления потере устойчивости сжатого винта, установленного поперек волокон древесины в элементе конструкции, позволяющая учитывать изменение величины коэффициента постели древесины, диаметра винта, длины анкеровки, модуля упругости материала винта, условий закрепления головки винта, закон распределения усилия сжатия по его длине и ползучесть древесины [4, с. 8 – 9; 9, с. 44 – 47; 12, с. 48 – 57; 13; 14].
4. На основе разработанных и экспериментально подтвержденных новой расчетной модели сопротивления выдергиванию из древесины элемента соединения винта наружным диаметром d резьбы от 3,5 мм до 5 мм и винта наружным диаметром d резьбы от 16 мм до 20 мм, установленных под углом $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ к направлению волокон, а также модифицированной расчетной модели сопротивления потере устойчивости сжатого винта наружным диаметром d резьбы от 10 мм до 20 мм, установленного в древесине элемента конструкции поперек волокон, разработана усовершенствованная методика расчета узловых соединений

элементов деревянных конструкций с винтами, воспринимающими осевые усилия, отличающаяся от приведенной в нормативных документах тем, что позволяет использовать винты с расширенным диапазоном технических параметров, а также исключить отказы узловых соединений со сжатыми винтами обусловленные потерей их устойчивости. Разработанная методика расчета является основой обобщенных рекомендаций по конструированию и расчету соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия [8, с. 36 – 40; 9, с. 44 – 47; 14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию проектными организациями, а также организациями, выполняющими обследование строительных конструкций, при проверке предельных состояний несущей способности узловых соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающими осевые усилия. Разработанная усовершенствованная методика расчета узловых соединений элементов деревянных конструкций с винтами, воспринимающими осевые усилия, позволяет использовать винты с расширенным диапазоном технических параметров при проектировании новых и усилении существующих конструкций.

Результаты научных исследований использованы при разработке СП 299.1325800.2017 Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования. Свод правил; Изменения № 1 СП 5.05.01-2021 Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования, а также внедрены в учебный процесс учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в рецензируемых научных журналах и сборниках

1. Найчук, А. Я. К вопросу методики определения расчетного сопротивления выдергиванию винта под углом 90° к направлению волокон древесины / А. Я. Найчук, Е. В. Лещук (Е. В. Маркечко) // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сборник научных трудов / Одесская государственная академия строительства и архитектуры ; под ред. В. В. Стоянова. – Одесса, 2014. – № 18. – С. 122–130.

2. Найчук, А. Я. Напряженное состояние древесины в зоне обрыва анкеровки винтов, работающих на растяжение поперек волокон // А. Я. Найчук, Е. В. Лещук (Е. В. Маркечко) // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наукових праць / Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2014. – Вип. 29 – С. 292–298.

3. Найчук, А. Я. Напряженно-деформированное состояние древесины при ввинчивании винта поперек волокон / А. Я. Найчук, Е. В. Маркечко // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сборник научных трудов / Одесская государственная академия строительства и архитектуры ; под ред. Стоянова В.В. – Одесса, 2016. – № 20. – С. 90–95.

4. Найчук, А.Я. Устойчивость стальных центрально сжатых винтов в массиве древесины / А.Я. Найчук, К.К. Глушко, Е.В. Маркечко // Промышленное и гражданское строительство. – 2020 – № 3. – С. 4–9.

5. Маркечко, Е. В. Маркечко, Е. В. Анализ существующих методик расчета соединений деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые растягивающие усилия / Е. В. Маркечко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 8. – С. 80–86.

6. Маркечко, Е. В. КЭ-модель узлового соединения элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия растяжения / Е. В. Маркечко, А. Я. Найчук // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 1. – С. 33–36.

7. Найчук, А. Я. Конечно-элементный анализ напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом, установленным под углом к волокнам и воспринимающим осевое усилие растяжения / А. Я. Найчук, Е. В. Маркечко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 2. – С. 25–31.

8. Найчук, А.Я. Сопротивление выдергиванию винта из древесины элемента соединения / А. Я. Найчук, Е. В. Маркечко // Промышленное и гражданское строительство. – 2023 – № 8. – С. 35–43.

9. Найчук, А.Я. Сопротивление сжатого винта потере устойчивости, установленного поперек волокон древесины / А. Я. Найчук, Е. В. Маркечко, К.К. Глушко, Юнь Сюй // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 2. – С. 41–48.

Статьи в сборниках материалов конференций

10. Найчук, А. Я. Численное исследование напряженного состояния древесины в зоне винтов, работающих на выдергивание поперек волокон / А. Я. Найчук, Е. В. Лещук (Е. В. Маркечко) // Строительная наука-2014: теория, образование, практика, инновации (посвящается 55-летию ИСиА САФУ) : сборник трудов международной научно-технической конференции, Архангельск, 22–23 мая 2014 г. / Под ред. Лабудина Б.В. – Архангельск, 2014. – С. 276–282.

11. Лещук, Е. В. (Маркечко, Е. В.) Отечественный и зарубежный опыт использования винтов в соединениях элементов деревянных конструкций / Е. В. Лещук (Е. В. Маркечко) // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сборник научных статей XIX Международного научно-методического семинара, Брест, 23–25 октября 2014 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: С. М. Семенюк [и др.]. – Брест, 2014. – Ч. 1. – С. 121–125.

12. Глушко, К. К. Численный анализ устойчивости центрально сжатых стальных винтов в деревянных конструкциях / К. К. Глушко, Е. В. Маркечко // Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве: сборник статей Международной научно-методической конференции; Брест, 27 марта 2020 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест, 2020. – С. 46–57.

13. Маркечко, Е. В. Соединения элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия = Screwed Connections of Timber Elements with Axially Loaded Screws / Е. В. Маркечко // Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве = Research, design & cad in construction: theory and practice : сборник статей VI Международной научно-технической конференции, Брест, 23 ноября 2023 г. / Брестский государственный технический университет, Строительный факультет [и др.] ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест, 2023. – С. 49–52.

14. Найчук, А. Я. Проектирование узловых соединений деревянных конструкций на винтах, воспринимающих осевые усилия / А. Я. Найчук, Е. В. Маркечко // Инженеры России и Беларуси: сила в сотрудничестве: материалы Международной научно-практической конференции; Архангельск, 15-16 октября 2024 г. / Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова ; редкол.: Н.Н. Шалобыта [и др.]. – Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, 2024. – С. 41–45.

Другие

15. Смирнов, П. Н. Совершенствование нормативной базы для соединений деревянных конструкций на винтах / П. Н. Смирнов, А. А. Погорельцев, А. Я. Найчук, Е. В. Маркечко // Крепеж, клеи, инструменты. – 2018. – №3. – С. 18–23.

РЭЗЮМЭ

МАРКЕЧКА КАЦЯРЫНА УЛАДЗІМІРАЎНА ВУЗЛАВЫЯ ЗЛУЧЭННІ ЭЛЕМЕНТАЎ ДРАЎЛЯНЫХ КАНСТРУКЦЫЙ З ВЫКАРЫСТАННЕМ ШРУБ, ЯКІЯ ЎСПРЫМАЮЦЬ ВОСЕВЫХ НАМАГАННЯЎ

Ключавыя словы: драўніна, шруб, восевы высілак, напружаны стан, параметр трываласці драўніны, супраціў вышморгванню шрубы, страта ўстойлівасці шрубы

Мэта даследавання: распрацаваць, навукова абгрунтаваць і ўкараніць у практыку праектавання драўляных канструкцый методыку па разліку і канструяванню вузлавых злучэнняў элементаў драўляных канструкцый з выкарыстаннем шруб, якія ўспрымаюць восевыя высілкі.

Метад даследавання: лікавае мадэляванне метадам канечных элементаў, механічныя выпрабаванні мадэльных і натуральных узораў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Упершыню атрыманы заканамернасці змены аб'ёмнага напружанага стану драўніны, размешчанай у зоне анкероўкі шруба, у залежнасці ад яго дыяметра, даўжыні анкероўкі і парушэнні кантакту паміж паверхнямі драўніны і шрубы, якія дазваляюць улічваць анізатрапію пругкіх уласцівасцяў драўніны. Навукова абгрунтавана і эксперыментальна пацверджана методыка разліку і канструявання злучэнняў элементаў драўляных канструкцый з выкарыстаннем шруб, якія ўспрымаюць восевыя высілкі, якая дазваляе ўлічваць велічыню змены дыяметра шрубы ад 3,5 мм да 20 мм, даўжыню анкероўкі і кут нахілу α падоўжнай восі вінта, а для злучэнняў элементаў драўляных канструкцый з выкарыстаннем вінтоў, якія ўспрымаюць восевыя сціскальныя намаганні, навукова абгрунтавана і эксперыментальна пацверджана мадыфікаваная разліковая мадэль супраціву сціснутага шрубы страты ўстойлівасці, якая дазваляе ўлічваць змяненне каэфіцыента ложку драўніны, модуля пругкасці матэрыялу шрубы, умоў замацавання галоўкі шрубы, закона размеркавання намаганні сціску па яго даўжыні і ползучэсть драўніны.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Распрацаваная ўдасканаленая методыка разліку вузлавых злучэнняў элементаў драўляных канструкцый з шрубамі, якія ўспрымаюць восевыя намаганні, дазваляе выкарыстоўваць шрубы з пашыраным дыяпазінам тэхнічных параметраў пры праектаванні новых і ўзмацненні існуючых канструкцый.

Сфера прымянення. Праектаванне і ўзмацненне будаўнічых канструкцый, навукова-даследчая дзейнасць, навучальны працэс.

РЕЗЮМЕ

МАРКЕЧКО ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА

УЗЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИНТОВ, ВОСПРИНИМАЮЩИХ ОСЕВЫЕ УСИЛИЯ

Ключевые слова: древесина, винт, осевое усилие, напряженное состояние, параметр прочности древесины, сопротивление выдергиванию винта, потеря устойчивости винта

Цель работы: разработать, научно обосновать и внедрить в практику проектирования деревянных конструкций методику по расчету и конструированию узловых соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия.

Метод исследования: численное моделирование методом конечных элементов, механические испытания модельных и натурных образцов.

Полученные результаты и их новизна. Впервые получены закономерности изменения объемного напряженного состояния древесины, расположенной в зоне анкеровки винта, в зависимости от его диаметра, длины анкеровки и нарушения контакта между поверхностями древесины и винта, позволяющие учитывать анизотропию упругих свойств древесины. Научно обоснована и экспериментально подтверждена методика расчета и конструирования соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия, позволяющая учитывать величину изменения диаметра винта от 3,5 мм до 20 мм, длину анкеровки и угол наклона α продольной оси винта к направлению волокон древесины, а для соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые сжимающие усилия, научно обоснована и экспериментально подтверждена модифицированная расчетная модель сопротивления сжатого винта потере устойчивости, позволяющая учитывать изменение коэффициента постели древесины, модуля упругости материала винта, условий закрепления головки винта, закона распределения усилия сжатия по его длине и ползучесть древесины.

Рекомендации по использованию. Разработанная усовершенствованная методика расчета узловых соединений элементов деревянных конструкций с винтами, воспринимающими осевые усилия, позволяет использовать винты с расширенным диапазоном технических параметров при проектировании новых и усилении существующих конструкций.

Область применения. Проектирование и усиление строительных конструкций, научно-исследовательская деятельность, учебный процесс.

SUMMARY

EKATERINA MARKECHKO

NODAL JOINTS OF TIMBER ELEMENTS WITH AXIALLY LOADED SCREWS

Keywords: timber, screw, axial force, stress state, withdrawal strength, axial withdrawal resistance of the screw, loss of stability

The research aim is to develop the methodology for design of timber joints with axially loaded screws, to scientifically substantiate this methodology and also one is used to design of timber structures.

The method of research: the finite element method, mechanical testing.

The results obtained and their novelty. For the first time the laws of change of the volume stress state of timber located in the screw anchoring zone depending on its diameter, length of anchoring and contact violation between the surfaces of timber and screw have been obtained, allowing to take into account the anisotropy of elastic properties of wood. The methodology of calculation and design of joints of timber structures elements using screws perceiving axial forces is scientifically substantiated and experimentally confirmed; it allows taking into account the change of screw diameter from 3.5 mm to 20 mm, the length of anchoring and the angle of inclination α of the longitudinal axis of the screw to the direction of wood fibres; and for nodal joints of timber elements using screws perceiving axial compressive forces, the modified calculation model of compression forces is scientifically substantiated and experimentally confirmed.

Recommendations for usage. The developed improved methodology of calculation of nodal joints of timber elements with axially loaded screws allows using screws with an extended range of technical parameters when designing new structures and reinforcing existing ones.

Fields of application. Designing and strengthening of building structures, research activities, scientific process.



Научное издание

Маркечко Екатерина Владимировна

**УЗЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИНТОВ,
ВОСПРИНИМАЮЩИХ ОСЕВЫЕ УСИЛИЯ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности

05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

Подписано к печати 23.10.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага «Performer»
Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 60. Заказ № 973.

Печать цифровая. Изготовлено и отпечатано в типографии учреждения
образования «Брестский государственный технический университет»
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1569 от 16.10.2017 г.

