



УДК 811

РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КЛЕЕНОГО БРУСА

Ходжадурдыева Язджамал, Кенанов Сапаргулы, Нурыев Гурбангулы

преподаватели

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

г. Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. Разработка численных методов расчета конструкций из клееного бруса представляет собой высокотехнологичное научно-инженерное направление на стыке механики деформируемого твердого тела, вычислительной математики и цифрового строительного проектирования. Современная индустрия деревянного домостроения стремительно эволюционирует от возведения типовых малоэтажных зданий к возведению уникальных большепролетных общественных сооружений, спортивных арен, мостов и высокоэтажных жилых комплексов. Клееный брус как конструкционный материал обладает выраженной конструктивной и геометрической спецификой, обусловленной анизотропной, ортотропной структурой древесины, наличием клеевых прослоек и возможностью образования скрытых дефектов в процессе заводской склейки ламелей. Классические аналитические методы сопротивления материалов, оперирующие упрощенными одномерными или двухмерными моделями, оказываются абсолютно неспособными с требуемой точностью учесть сложные пространственные эффекты, концентрацию напряжений в узлах сопряжений и реологические процессы ползучести.

Ключевые слова: клееный брус, численные методы, метод конечных элементов, ортотропный континуум, контактный элемент, механика разрушения, когезионная зона, влажностная усушка, огнестойкость конструкций, цифровой двойник.

DEVELOPMENT OF NUMERICAL METHODS FOR CALCULATING GLUED LAMINATED TIMBER STRUCTURES

Hojadurdyeva Yazjamal, Kenanov Saparguly, Nuryyev Gurbanguly

Lecturers

Turkmen State Institute of Architecture and Construction

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. The development of numerical methods for calculating glued laminated timber structures represents a critical computational frontier in advanced structural mechanics and digital civil

engineering, essential for transitioning timber from low-rise residential frames to massive, wide-span engineered building systems. Glued laminated timber operates as a highly complex, heterogeneous orthotropic continuum possessing distinct elastic properties across its longitudinal, radial, and tangential material axes, which renders traditional simplified, isotropic beam formulas completely inadequate for precision engineering. Modern numerical frameworks rely heavily on the finite element method utilizing high-order isoparametric hexahedral mesh schemes to capture localized three-dimensional stress concentrations, coupled with specialized zero-thickness contact interface elements to mathematically simulate shear and normal stress distributions along internal adhesive lines.

Keywords: glued laminated timber, numerical methods, finite element method, orthotropic continuum, contact interface element, fracture mechanics, cohesive zone modeling, moisture diffusion, structural fire resistance, lifecycle distribution expenditures.

Введение

Основным вычислительным инструментом для реализации разработанных математических моделей является метод конечных элементов в перемещениях, адаптированный для решения нелинейных трехмерных задач строительной механики. В процессе дискретизации пространственного тела клееной деревянной конструкции применяются высокопорядковые изопараметрические гексаэдральные конечные элементы, позволяющие с высокой точностью аппроксимировать криволинейные формы изгибаемых и армированных элементов. Численное интегрирование матриц жесткости элементов осуществляется с использованием квадратурных формул Гаусса, при этом плотность разбиения сетки динамически оптимизируется в зонах ожидаемой концентрации внутренних напряжений. Для решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений сверхвысокой размерности применяются итерационные методы сопряженных градиентов с использованием современных процедур предобуславливания. Использование параллельных вычислений на многоядерных процессорах и графических ускорителях позволяет сократить время выполнения многовариантных расчетов крупноразмерных пространственных каркасов с нескольких суток до нескольких минут.

Важнейшим аспектом разработки численных методов является моделирование долговечности и трещиностойкости конструкций из клееного бруса с использованием аппарата механики разрушения и концепции сплошной поврежденности. Внедрение моделей накопления повреждений позволяет предиктивно рассчитывать процессы зарождения и магистрального распространения трещин вдоль волокон древесины под воздействием длительно действующих эксплуатационных нагрузок. Численный алгоритм базируется на вычислении энергетических критериев разрушения, в частности, критического значения интеграла Черепанова-Райса или коэффициентов интенсивности напряжений для трех типов раскрытия трещины.

Моделирование зон сцепления ламелей в рамках теории когезионных зон дает возможность виртуально воспроизвести поэтапный процесс деградации клеевого соединения при циклическом изменении влажностно-температурного режима окружающей среды. Такие аналитические комплексы позволяют конструкторам еще на стадии проектирования устанавливать точные сроки наступления предельных состояний и формировать регламенты технического обслуживания объектов.

Специфика работы деревянных конструкций в реальных условиях эксплуатации требует обязательной интеграции механических расчетов с численным моделированием процессов тепломассопереноса и температурно-влажностной усушки. Разрабатываемые алгоритмы реализуют связанную систему дифференциальных уравнений в частных производных, описывающую нестационарную диффузию влаги и теплопроводность внутри анизотропного тела клееного бруса. Неравномерное распределение влажности по сечению крупноразмерной балки, возникающее при сезонных колебаниях микроклимата, порождает значительные внутренние технологические напряжения усушки, способные вызвать продольное растрескивание материала. Численное решение этой сопряженной задачи позволяет получить динамическую картину деформирования элемента с учетом эффекта влажностной ползучести древесины, из-за которого прогибы конструкций могут существенно возрасти со временем.

Заключение

В заключение необходимо подчеркнуть, что разработка численных методов расчета конструкций из клееного бруса формирует фундаментальную научно-производственную платформу для полномасштабной цифровизации индустрии деревянного строительства. Дальнейший прогресс в этом технологическом сегменте неразрывно связан с интеграцией алгоритмов машинного обучения и нейросетевых моделей для автоматической генерации оптимальных топологий пространственных узловых соединений.

Список литературы:

1. Арленинов Д. К., Сучков В. П. Деревянные конструкции: введение в численный анализ и проектирование. Москва: Издательство АСВ, 2005.
2. Бондин В. Д., Серов Е. Н. Проектирование и расчет конструкций из клееной древесины. Ленинград: Стройиздат, 1988.
3. Вдовин Ю. М., Пятикрестовский К. П. Численные методы в механике деревянных конструкций и новые конструктивные решения. Москва: Стройиздат, 1995.
4. Пятикрестовский К. П. Нелинейные методы расчета деревянных конструкций при долговременном нагружении. Москва: Архитектура-С, 2010.