

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИЧЕСКИЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СТОЛЯРНОГО ЗУБЧАТОГО КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ИЗГИБ

The computer simulation and research of durability of joiner's items is considered on the basis of a finite element method during designer preparation of production. The estimation analytical, numerical methods and available software is given. The methodical principles of simulation and realization of a finite element method for the analysis of a construction of joiner's items with application of systems CAE of automation of engineering accounts are stated.

Клеевые соединения получают все более широкое применение в производстве столярно-строительных изделий и конструкций благодаря малой массе, высокой прочности, стойкости при эксплуатации в различных условиях и вариантности их размеров и формы.

В ходе конструктивного расчета столярных изделий на прочность на начальном этапе определяют величину и характер нагрузок, действующих при эксплуатации изделия. Определив максимальные силы и направления их действия, приступают к расчету прочности наиболее ответственных деталей, элементов и узлов [6, с. 115]. Однако такой подход не всегда приводит к оптимальным конструктивным решениям и имеет ряд недостатков:

- 1) замена плоских элементов стержневыми, что вносит в расчеты соответствующую погрешность;
- 2) необходимость введения в расчетную схему для уточнения аналитического решения коэффициентов, получаемых эмпирическим путем;
- 3) отсутствие возможности учета реальной геометрической формы деталей и местных деформаций отдельных конструктивных элементов;
- 4) отсутствие учета совместной работы узлов, входящих в состав изделия.

Вышеуказанное обуславливает существенные погрешности вычислений и приводит к тому, что при подготовке производства многих столярных изделий их прочностной расчет зачастую вообще не проводится, а размеры элементов устанавливаются на основании сложившейся практики.

Одним из актуальных и современных направлений повышения эффективности конструкторско-технологической подготовки производства столярных изделий является применение моделирования объекта разработки и аналитического метода конечных элементов (МКЭ) [2]. МКЭ позволяет описать геометрию изделия с достаточной степенью точности, осуществить расчет и многокритериальный анализ конструкции с учетом физико-механических и эксплу-

тационных показателей изделий и материалов. На этой основе возможна оптимизация объекта конструирования [3, с. 159–161].

Зубчатые торцовые соединения деталей по длине получают все большее распространение в современной мебели, столярно-строительных изделиях (ССИ) из натуральной древесины и в конструкционных материалах для их производства (клееный брус, щит, детали профильные для строительства и т. п.). С целью поиска направлений совершенствования этих соединений были проведены теоретические исследования их МКЭ, т. е. вычислительные эксперименты на виртуальной модели с последующей опытной проверкой их результатов на физических образцах.

Исследования конструкции зубчатого клеевого соединения направлены на разработку обоснованных методик расчета и проектирования с целью последующего использования МКЭ при анализе столярных конструкций.

На примере расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) зубчатого клеевого торцового соединения деталей (рис. 1) можно показать разработанные [3, с. 159–161] принципы моделирования, методику статического анализа и прогнозирования результата воздействия на столярную конструкцию.

В процессе моделирования и анализа приняты следующие допущения.

1. При малом объеме древесного материала, пренебрегая кривизной годичных слоев [4, с. 141] используем теорию упругости ортотропного тела, согласно которой свойства материала обладают симметрией относительно трех ортогональных плоскостей, расположенных под углом 90 градусов друг к другу). Модуль упругости древесины при расчете принят равным: вдоль волокон $E = 10\,000$ МПа; поперек волокон $E_{90} = 400$ МПа. Модуль сдвига древесины относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон, принят равным $G_{90} = 500$ МПа. В соответствии с п. 6.1.5.4 СНБ 5.05.01-00 [10] коэффициент

Пуассона древесины поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, принят равным $\mu_{90,0} = 0,5$, а вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон, – $\mu_{0,90} = 0,02$.

2. Деформирование всех элементов клеевого соединения линейно зависит от напряжения. Для клея ПВА приняты: модуль упругости $E = 100$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,5$ [5, с. 65].

3. Клей имеет идеальную адгезию к древесине (отсутствует непрочность).

4. Усадка клеевого шва и появление внутренних напряжений не учитываются.

5. Влажность древесины во времени остается постоянной (не учитываются влажностные напряжения).

6. Все нагрузки являются установившимися (без учета центробежных и демпфирующих эффектов).

Параметрическая твердотельная модель зубчатого клеевого соединения была построена в среде T-FLEX CAD-3D версии 8 (рис. 1) и экспортирована в ANSYS через формат Parasolid.

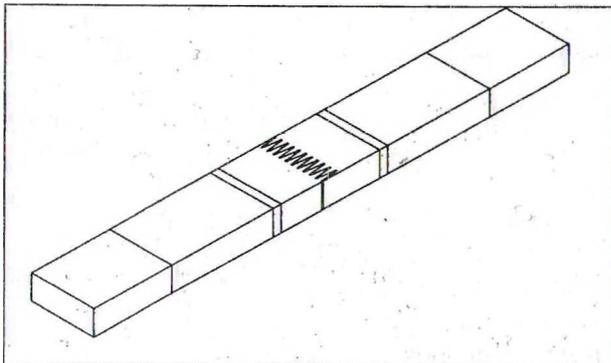


Рис. 1. Твердотельная модель соединения на зубчатый клеевой шип

Конструкционный анализ соединения на статический изгиб, проведенный МКЭ в ANSYS, включал несколько этапов:

- задание в препроцессоре свойств материалов и генерирование сетки конечных элементов (КЭ);

- задание в процессоре нагрузки, граничных условий и проведение вычислительного эксперимента;

- просмотр и анализ в постпроцессоре результатов расчетов.

Постановка задачи исследования: произвести расчет НДС зубчатого клеевого соединения методом конечно-элементного моделирования с использованием программы ANSYS на основе виртуальной модели.

Тип анализа – статический изгиб.

Тип деформации – упругая.

Цель анализа – прогноз (оценка) влияния на прочность соединения толщины клеевого слоя и физико-механических характеристик клеев.

Описание объекта исследования: форма моделируемого зубчатого торцового соединения должна соответствовать натурным экспериментальным образцам размером $16 \times 40 \times 300$ мм, которые были подготовлены в соответствии с ГОСТ 19414–90 [9] и имели вертикальное зубчатое соединение с длиной шипа 10 мм, шагом 3,8 мм и торцовым затуплением 0,6 мм. Толщина клеевого слоя не более 0,1 мм.

Схема приложения нагрузок и граничных условий соответствовала ГОСТ 15613.4–78 [8], рис. 2.

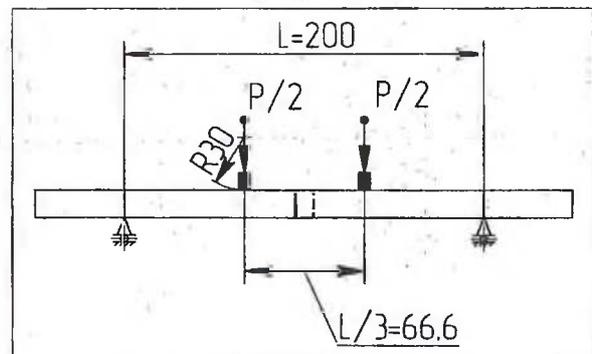


Рис. 2. Схема приложения нагрузок и граничных условий

При построении расчетной модели на первом этапе была импортирована трехмерная твердотельная модель зубчатого торцового клеевого соединения (рис. 1).

Затем был выбран тип конечного элемента (КЭ) – SOLID95 (трехмерный КЭ с 20 узлами, рис. 3). Он предназначен для трехмерного моделирования объемных изделий сложной конфигурации. Каждый узел КЭ модели имеет три степени свободы перемещения – в осях X, Y, Z . Этот элемент может иметь форму треугольной, четырехугольной призмы и тетраэдра и использоваться для моделирования анизотропных материалов. Далее в ANSYS была сгенерирована объемная конечно-элементная сетка клеевого соединения (рис. 4, 5). Модель соединения содержит около 35 000 КЭ.

На следующем этапе вычислительного эксперимента были заданы граничные условия, моделирующие опорные точки образца, и приложено равномерное давление P на каждую площадку 5×40 мм², моделирующую место контакта индентера давления (рис. 6).

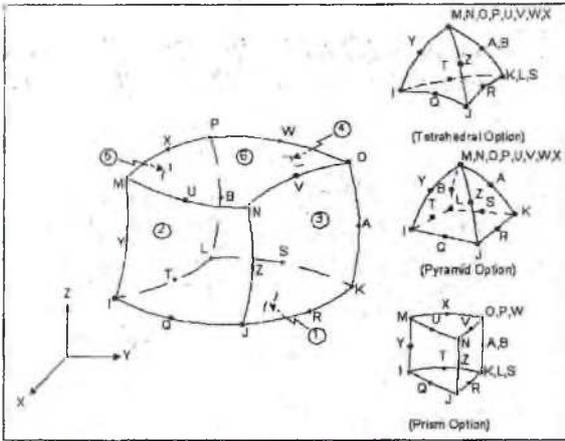


Рис. 3. Форма конечного элемента SOLID95 в виде параллелепипеда, треугольной, четырехугольной призмы и тетраэдра

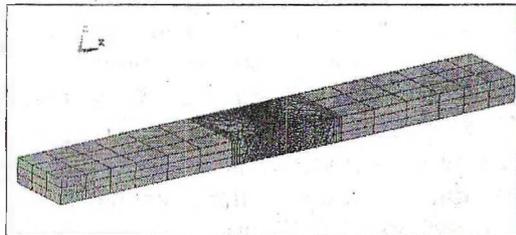


Рис. 4. Результат генерации объемной конечно-элементной сетки (использованы конечные элементы в виде параллелепипеда и треугольной призмы)

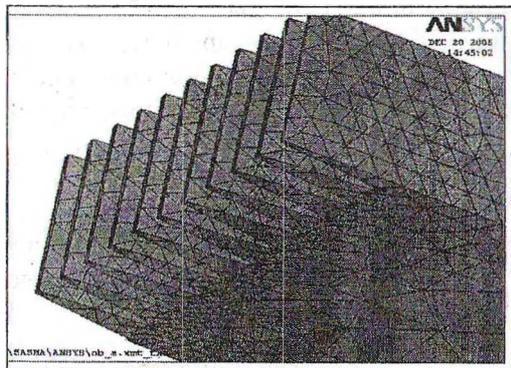


Рис. 5. Результат генерации объемной конечно-элементной сетки (увеличено место соединения детали)

Далее получено решение расчетной модели и исследован отклик модели на заданные условия нагружения (рис. 7–10)

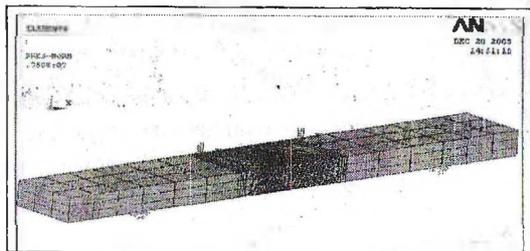


Рис. 6. Результат приложения нагрузок и граничных условий к модели соединения

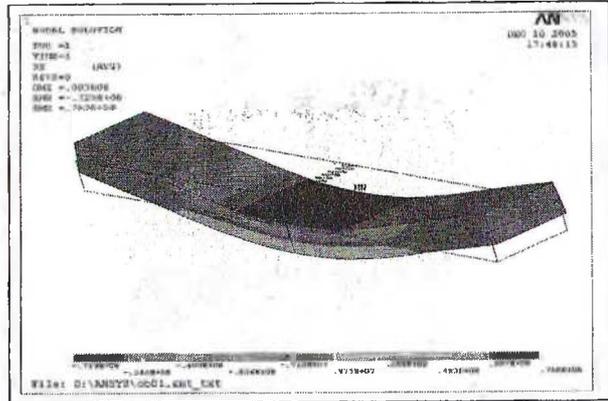


Рис. 7. Распределение X-составляющей напряжений, возникающих в конструкции под действием приложенных изгибающих сил (нормальные напряжения растяжения и сжатия)

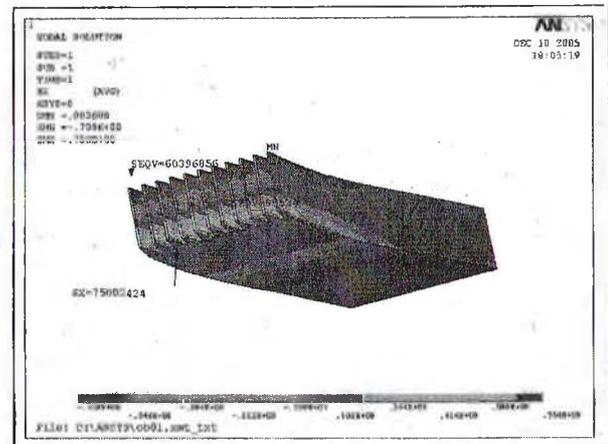


Рис. 8. Распределение X-составляющей напряжений, возникающих в детали под действием приложенных изгибающих сил, с указанием места максимальных сжимающих напряжений (правый брусок соединения)

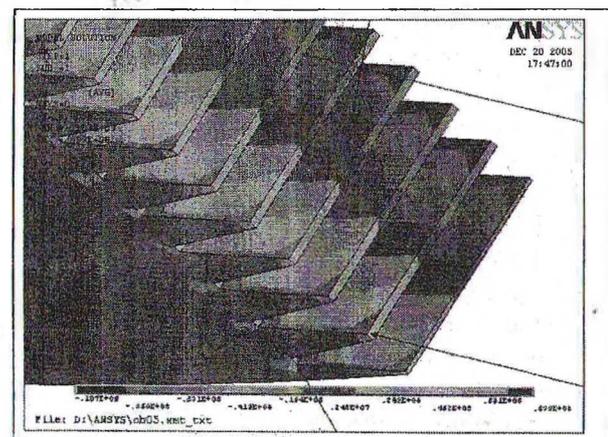


Рис. 9. Распределение X-составляющей напряжений, возникающих в детали под действием приложенных изгибающих сил, с указанием места максимальных растягивающих напряжений (левый брусок соединения)

чительной для древесных материалов величиной – 18,6%, что позволяет сделать заключение о приемлемости методики, программных средств моделирования и анализа МКЭ, использованных в исследовательской работе, и о необходимости продолжения работ в принятом направлении.

В заключение следует отметить, что лабораторные испытания клеевых соединений не дают полной информации о качестве изготавливаемых конструкций, особенно при сложившейся системе контроля, основанной на испытаниях пластевых соединений на скалывание и расслаивание, а зубчатых соединений на изгиб. Только применение современных методов математического моделирования на этапе проектно-конструкторских работ и хорошо отработанного и тщательно выполняемого операционного контроля и выборочных испытаний клеевых соединений может обеспечить выпуск надежных в эксплуатации конструкций.

Литература

1. Волынский В. Н. Технология клеевых материалов. – Архангельск: АГТУ, 2003. – 280 с.

2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

3. Пардаев А. С., Трофимов С. П. Принципы моделирования и анализа прочности столярных конструкций на основе метода конечных элементов // Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2005. – Вып. XII. – 258 с.

4. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

5. Фрейдин А. С., Вуба К. Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. – М.: Лесная. пром-сть, 1980. – 224 с.

6. Фридман И. М. Деревообработка. Практическое руководство. – СПб.: ПрофиКС, 2003. – 544 с.

7. Хрулев В. М. Прочность клеевых соединений. – М.: Стройиздат, 1973. – 84 с.

8. ГОСТ 15613.4–78. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при статическом изгибе.

9. ГОСТ 19414–90. Древесина клееная массивная. Общие требования к зубчатым клеевым соединениям.

10. СНБ 5.05.01-2000. Деревянные конструкции.