

А. С. Пардаев, ассистент; С. П. Трофимов, доцент

ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ СТОЛЯРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

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.

Необходимость совершенствования конструкции столярных изделий, расширение технических, технологических и материальных возможностей производства требуют разработки и освоения новых научно обоснованных комплексных методов и инструментальных средств.

Одним из актуальных направлений повышения эффективности конструкторско-технологической подготовки производства столярных изделий является применение методов математического моделирования объекта разработки. Исследование изделия на начальной стадии жизненного цикла позволит повысить качество и оптимизировать его конструкцию, ускорить процесс выполнения проекта, уменьшить затраты на создание, испытание и доработку опытных образцов.

В последнее время значительное развитие получило математическое моделирование напряженно-деформированного состояния, прежде всего, посредством метода конечных элементов, который дает возможность разработки и внедрения новых, более точных и эффективных методик расчета и оптимизации объектов конструирования.

Проводимые исследования направлены на освоение новых методов, средств моделирования, разработку обоснованных методик расчета и проектирования. Они имеют целью повышение качества и сокращение сроков проектной и конструкторско-технологической подготовки производства на основе применения компьютерных информационных технологий.

В настоящее время при подготовке производства столярных изделий расчет конструкции на прочность обычно не проводится. Размеры устанавливаются на основании сложившейся практики. Однако такой подход не всегда приводит к оптимальным решениям. Одним из главных требований при конструировании изделия является обеспечение равнопрочности элементов при минимальном расходе материалов и заданной долговечности изделия. Для выбора оптимальных конструктивных решений необ-

ходимо знать возникающие в изделии напряжения и деформации. При проектировании это позволит дифференцированно выбирать материалы, контролировать выполнение таких требований к изделию, как обеспечение устойчивости и жесткости.

Точное отражение работы всех элементов столярного изделия – сложная и практически трудно разрешимая задача. Поэтому при использовании аналитических методов рассчитываемая конструкция представляется в виде совокупности стержневых элементов, плоских и пространственных рам, пластин или комбинации пластин. При введении определенных допущений для каждого из этих элементов возможно получить решение аналитическими методами. Например, при расчете корпусной мебели основные расчетные схемы принимают в виде плоских рам или систем пластин, не связанных между собой. В первом случае погрешность в расчеты вносит замена пластинчатых элементов стержневыми, во втором – отсутствие учета совместной работы в изделии отдельных элементов. Для уточнения аналитического решения в расчетную схему вводятся коэффициенты, получаемые эмпирическим путем.

Достоинством аналитических методов является их относительная простота, а также то, что используемые аналитические формулы наглядно показывают влияние того или иного параметра рассчитываемой конструкции на ее смещения, наличие возможности быстро сравнить различные варианты конструкции. Однако при использовании аналитических методов нельзя учесть реальную геометрическую форму деталей, местные деформации отдельных конструктивных элементов. Аналитические решения для деталей сложной формы имеют значительную погрешность и требуют коррекции с помощью эмпирических коэффициентов, применимых, в свою очередь, только для ограниченного набора конструкций, аналогичных тем, для которых имеются экспериментальные данные.

Указанные недостатки существенно ограничивают возможности применения аналитиче-

ских методов и приводят к необходимости использования численных методов, и в частности метода конечных элементов (МКЭ).

Поскольку МКЭ позволяет описать геометрию с любой степенью точности, его применение более предпочтительно по сравнению с другими математическими методами реализации представления геометрии в системах анализа. С помощью указанного метода реализованы такие системы, как ANSYS, NASTRAN, LS-DYNA, ADAMS, ABAQUS, MARC ProCAST, SIMTEC, PASSAGE/PowerCAST, ПОЛИГОН и др.

При использовании МКЭ рассчитываемая конструкция представляется в виде совокупности простых геометрических объектов – конечных элементов, для каждого из которых заранее определен вид функциональной зависимости распределения перемещений в этом элементе от перемещений в его узлах. Узлы обеспечивают соединение элементов между собой, их перемещения определяют напряженно-деформированное состояние конструкции [1].

Для каждого конечного элемента можно задать следующую зависимость между смещениями и силами в узлах:

$$F = [K]u + [D]u' + [M]u'' \quad (1)$$

где F – вектор, определяющий значения сил в узлах конечного элемента;

u , u' и u'' – векторы, определяющие, соответственно, значения смещений в узлах конечного элемента, а также его первые и вторые производные по времени;

$[K]$, $[D]$ и $[M]$ – соответственно, матрицы жесткости, демпфирования и масс конечного элемента.

В случае статической задачи все компоненты векторов u' и u'' являются нулевыми и уравнение (1) сводится к следующему:

$$F = [K]u \quad (2)$$

Приравняв к нулю сумму сил, действующих на каждый из узлов конечноэлементной модели и выразив данные силы через смещения узлов в соответствии с (1) и (2), можно получить систему уравнений, содержащую в качестве неизвестных смещения узлов, и найти их значения путем решения этой системы.

Изложим основные методические принципы и порядок реализации МКЭ, принятые нами для анализа конструкции столярных изделий, с использованием современных программных комплексов автоматизации инженерных расчетов – САЕ (Computer Aided Engineering)-систем.

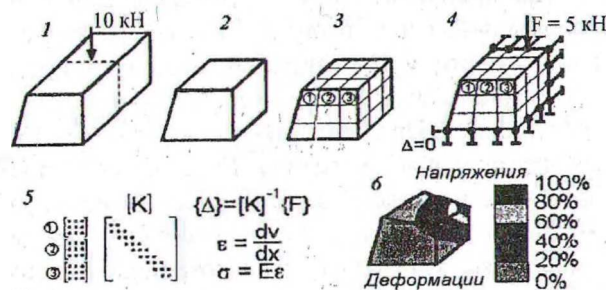


Рис. Основные этапы работы над моделью изделия в САЕ-системе [3]

Последовательность решения задач анализа в САЕ-системе ANSYS на основе МКЭ (рисунок):

1) Постановка задачи и определение условий ее решения (характеристика изделия, конструктивных материалов, нагрузок, воздействий и других условий эксплуатации).

2) Идентификация задачи (присвоение имени файлу, создание чертежа конструкции и задание нагрузок).

3) Создание или импорт геометрической модели для анализа МКЭ.

4) Выбор типа конечных элементов и разбиение модели с получением сетки и совокупности элементов.

5) Приложение к модели граничных условий (закрепление на границе, граничные условия).

6) Численное решение в САЕ-системе и визуализация результатов.

7) Просмотр, интерпретация и анализ результатов.

8) Работа с моделью для улучшения конструкции.

9) Экспериментальная проверка адекватности применяемых методов на физической натурной модели (при необходимости).

10) Передача модели изделия или его деталей к исполнению на основе безбумажной или традиционной технологии через чертежи.

Для конструкций из древесины имеют значение главным образом два вида предельных состояний [4]:

1) по несущей способности (прочности, устойчивости);

2) по деформациям (прогибам, перемещениям).

Расчет по первому предельному состоянию производится на расчетные нагрузки, а по второму предельному состоянию производится на нормативные нагрузки, т. е. без учета коэффициента перегрузки.

Столярные изделия могут нести нагрузки: собственного веса, снега, ветра, температурных изменений или монтажных нагрузок, воздействия сейсмических сил, аварийных нагрузок, эксплуатационных нагрузок и т. п.

При кратковременных нагрузках до величины напряжений, соответствующей пределу пропорциональности, у древесины наблюдается близкая к линейной зависимость между напряжением и деформацией. При этом можно считать, что древесина подчиняется закону Гука. Структурные особенности древесины определяют явно выраженные различия упругих свойств по разным направлениям, т. е. упругую анизотропию. Однако при малых размерах образца, когда пренебрегают кривизной годичных слоев, можно с достаточным основанием принять схему ортогональной анизотропии, т. е. считать древесину ортотропным телом, которое имеет три взаимно перпендикулярные плоскости структурной симметрии, являющиеся одновременно плоскостями симметрии механических свойств. Поскольку столярные конструкции все чаще изготавливаются клееными по толщине, а значит, отсутствует правильная ориентация сечения элементов данной клееной конструкции по отношению к годичным слоям, есть основание применить схему трансверсальной изотропии.

Поскольку форма модели столярного изделия выбрана как трехмерное твердое тело и принята схема трансверсальной изотропии, следовательно, необходимо выбирать тип конечного элемента, который используется для трехмерного моделирования анизотропных твердых структур. Указанный элемент, как правило,

определен восемью узлами, имеющими три степени свободы в каждом из них.

Таким образом, нами рассмотрены вопросы, связанные с внедрением компьютерного анализа в процесс проектирования столярных конструкций, в частности на стадии исследовательских работ. Изложены основные методические принципы и порядок реализации МКЭ при анализе конструкции столярных изделий. Проанализированы математические методы реализации представления геометрии в системах анализа и обосновано применение МКЭ. Проведенные исследования позволят совершенствовать конструкцию и процесс подготовки производства столярных изделий на основе современных информационных технологий.

Литература

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: 1978. – 224 с.
3. Каптун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едитореал УРСС, 2003. – 272 с.
4. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
5. СНБ 5.05.01-2000. Деревянные конструкции. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2001. – 71 с.