

УДК 674.59

Н. М. Влащенко, магистрант (БГТУ);**А. С. Пардаев**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Проведен краткий анализ основных математических методов представления геометрии деревянных конструкций в системах анализа, в частности реализация метода конечных элементов при прочностном расчете мебельных изделий, определены расчетные схемы конструкций из древесины и основных древесных материалов, используемых при производстве мебельных изделий.

The short analysis of the main mathematical methods of representation of geometry of wooden designs in analysis systems, in particular realization of a method of final elements at strength calculation of furniture products is carried out, settlement schemes of designs from wood and the main wood materials used by production of furniture products are defined.

Введение. Производство изделий из древесины и древесных материалов является крупным потребителем древесины и характеризуется большими объемами производства. К таким изделиям относят: окна, двери, перегородки, щиты и панели, покрытия пола, мебель, корпуса теле- и радиоаппаратуры, музыкальные инструменты и многое другое.

Прочность, надежность и долговечность изделий из древесины в значительной мере зависят от правильного выбора материалов, размеров деталей, элементов, их соединений.

В настоящее время наряду с традиционными способами оценки прочности изделий все чаще используются подходы, основанные на численных методах. Это связано с внедрением систем автоматизированного проектирования, усложнением геометрии и структуры конструкций с ужесточением требований к их прочности, а также сокращением сроков, отводимых на подготовку производства продукции.

Использование систем конечно-элементного анализа делает возможным исследование объектов без изготовления их материального прототипа путем создания и решения адекватной математической модели. Это позволяет в несколько раз сократить период конструкторско-технологической подготовки производства продукции, материальные расходы и оптимизировать конструкцию по определенным критериям.

Однако применение метода конечных элементов при анализе деревянных конструкций требует больших знаний о самом методе, опыта работы и наличия прикладных методик расчета, учитывающих особенности древесного материала и действительной работы конструкций.

Целью данной работы является анализ прочности деревянных конструкций и последующий расчет их конструктивных показателей с применением метода конечных элементов.

Объектами исследования являются деревянные мебельные изделия, их конструкция, размеры и действующие на них нагрузки.

Предметом исследования являются механические характеристики конструкционных материалов и напряженно-деформированное состояние конструкций.

Основная часть. В настоящее время существует множество самых разнообразных конструкций деревянных изделий, которые отличаются формой и размерами, типом и назначением, конструкцией отдельных узлов и элементов, материалами, использованными для ее изготовления. Такое огромное разнообразие конструкций требует особого подхода к каждому типу изделий при их расчетах на прочность.

При анализе надежности конструкции необходимо выделить основные факторы, оказывающие влияние на прочность и жесткость изделия. Этот этап исследования называют выбором расчетной схемы изделия. Материалы, из которых изготовлено изделие, предполагаются в расчетной схеме однородными или неоднородными, изотропными или анизотропными с определенными механическими свойствами.

Для изготовления деревянных конструкций широко применяются анизотропные материалы: древесина, древесноволокнистые или древесностружечные плиты, стелярные плиты, фанера и другие. Механические испытания таких материалов показывают большое различие их упругих свойств в разных направлениях.

Композиционные древесные материалы обладают, как правило, тремя взаимно ортогональными осями упругой симметрии, т. е. являются ортогонально-анизотропными. Такие материалы принято называть ортотропными.

Исследование прочности конструкции усложняется тем, что нагрузки, действующие даже на абсолютно одинаковые изделия, являются различными. Кроме того, они изменяются во времени и по характеру приложения, т. е. носят ярко выраженный случайный характер и трудно поддаются статистическому анализу.

Прочность изделий подразделяют на статическую, под действием постоянных нагрузок.

зок, динамическую и усталостную, имеющую место при действии циклических переменных нагрузок.

Для конструкций различают общую прочность – способность всей конструкции выдерживать нагрузки без разрушения и местную – та же способность отдельных узлов, деталей, соединений.

В процессе проектирования часто возникает необходимость оценки наиболее значимых физико-механических свойств деталей и узлов или изделия в целом. Например, при проектировании необходимо оценить прочность деталей при заданных нагрузках или максимальные деформации корпуса изделия. Длительное время единственным средством оценки физико-механических свойств изделий были оценочные расчеты с использованием приближенных аналитических или полуэмпирических методик, приводимых в отраслевых справочных руководствах. Точность подобных методик применительно к реальным объектам проектирования обычно невысока. Поэтому в конструкции изделия закладываются значительные «коэффициенты запаса» (например, по прочности), снижающие риск принятия ошибочного проектного решения [1].

Существует несколько математических методов реализации представления геометрии в системах анализа, основанных на численных методах: конечных разностей (МКР); конечных элементов (МКЭ); граничных элементов (МГЭ).

МГЭ является весьма перспективным, но пока еще не нашел практического применения.

С помощью МКР реализованы многие системы анализа линейного программирования (MAGMASOFT, AFS, CastCAE, LVMFlow и др.). Это вызвано простотой применения данного метода, хотя он имеет существенный недостаток, заключающийся в искажении геометрии при ее ступенчатом представлении (например, периметр круга, представленного МКР, равен периметру описанного вокруг него квадрата).

МКЭ позволяет описать геометрию с любой степенью точности, поэтому его применение представляется более предпочтительным.

Особенностями МКЭ стали присущие универсальность (пригоден для решения различных задач математической физики: механика деформируемого тела, теплопроводность, задачи электродинамики), возможность разработки программных комплексов, охватывающих широкий круг прикладных задач; хорошая численная устойчивость МКЭ алгоритмов.

Благодаря перечисленным выше достоинствам МКЭ стал лидирующим методом компьютерного моделирования физических задач и,

фактически, ассоциируется с целой отраслью современной индустрии программного обеспечения, известной под аббревиатурой CAE (Computer Aided Design).

Суть метода конечных элементов заключается в замене исходной пространственной конструкции сложной формы на дискретную математическую модель, должным образом отражающую физическую сущность и свойства исходного изделия. Важнейшим элементом этой модели является конечно-элементная дискретизация изделия – построение совокупности элементарных объемов заданной формы (т. н. конечных элементов КЭ), объединенных в единую систему (т. н. конечно-элементную сетку).

Таким образом, конструкция, как распределенная система сложной геометрической формы, представляется в виде совокупности конечных элементов. Конечные элементы, аппроксимирующие исходную конструкцию, считаются связанными между собой в граничных точках – узлах, в каждом из которых вводится по три поступательные степени свободы (для задач механики). Действующие на конструкцию внешние нагрузки приводятся к эквивалентным силам, прикладываемым в узлах конечных элементов. Ограничения на перемещение конструкции (закрепления) также переносятся на конечные элементы, которыми моделируется исходный объект. Поскольку каждый КЭ имеет заранее определенную форму и известны его геометрические характеристики и характеристики материала, для каждого КЭ, которыми моделируется конструкция, можно записать систему линейных алгебраических уравнений, определяющих смещение узлов КЭ под действием приложенных в эти узлы сил.

Записывая систему уравнений для каждого конечного элемента, аппроксимирующего исходную физическую систему, и рассматривая их совместно, получают систему уравнений для полной конструкции. Порядок этой системы уравнений равен произведению количества подвижных узлов конструкции на число введенных степеней свободы в одном узле. Обычно это соответствует десяткам или сотням тысяч алгебраических уравнений.

Формируя систему уравнений для всей конструкции и решая ее, получают значения искомой физической величины (например, перемещений) в узлах конечно-элементной сетки, а также дополнительные физические величины, например напряжения. Эти значения будут приближенными (с точки зрения теоретически возможного «точного» решения соответствующего дифференциального уравнения математической физики), но погрешность решения может быть очень небольшой. Погреш-

ность получаемого в результате конечно-элементной аппроксимации решения обычно уменьшается с увеличением степени дискретизации моделируемой системы. Таким образом, чем большее количество КЭ участвует в дискретизации (или чем меньше относительные размеры КЭ), тем точнее получаемое решение. Естественно, что более плотное КЭ разбиение требует более значительных вычислительных затрат [2].

Описанный алгоритм конечно-элементного моделирования применим для решения разных физических задач.

Статический анализ позволяет осуществлять расчет напряженно-деформированного состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени сил. Также можно учесть напряжения, возникающие по причине температурного расширения (сжатия) материала или деформации конструкции на величину известных перемещений. Можно оценить прочность разработанной конструкции по допускаемым напряжениям, определить наиболее уязвимые места конструкции и внести необходимые изменения, оптимизировать изделие. Статический анализ применяется для всех деревянных конструкций.

Частотный анализ позволяет осуществлять расчет собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний. По итогам расчета осуществляется проверка наличия резонансных частот в рабочем частотном диапазоне изделия. Можно повысить надежность и работоспособность изделия, оптимизируя конструкцию таким образом, чтобы исключить возникновение резонансов. Частотный анализ, как правило, применяется для конструкций музыкальных инструментов.

Анализ устойчивости важен при проектировании конструкций, эксплуатация которых предполагает продолжительное воздействие различных по интенсивности нагрузок. С помощью данного модуля пользователь может оценить запас прочности по так называемой «критической нагрузке». Под действием критической нагрузки в сжатых зонах конструкции могут скачкообразно возникнуть значительные неупругие деформации, зачастую приводящие к ее разрушению или серьезному повреждению. Такой анализ важно производить в несущих конструкциях, к примеру деревянных балках.

Тепловой анализ – модуль обеспечивает возможность оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения. Тепловой анализ может использоваться самостоятельно для расчета температурных или тепловых полей по объему конструкции, а также совместно со статическим анализом для

оценки возникающих в изделии температурных деформаций. Такой анализ особенно приемлем для конструкций из массива древесины, работающих в условиях переменной температуры: окон, лестниц, балок, дверей, паркета.

Анализ усталости используется для изучения прочности материала при действии переменных по времени нагрузок. Сопротивление материалов действию таких нагрузок существенно отличается от сопротивления тех же материалов статическому и ударному действию нагрузок. Очень часто такой анализ используется для мебельных изделий. В большей степени это относится к мебели для хранения, мебели для сидения и лежания.

В большинстве современных программных комплексов (например, ANSYS, NASTRAN, NISA 2, PATRAN, ABAQUS, T-Flex и др.) численный анализ реализован с помощью МКЭ. При этом между трехмерной моделью изделия и расчетной конечно-элементной моделью поддерживается ассоциативная связь. Параметрические изменения исходной твердотельной модели автоматически переносятся на сеточную конечно-элементную модель. При этом следует отметить, что различные программные комплексы специализированы. К примеру, модуль T-Flex. Анализ может использоваться для расчета материалов только с изотропной расчетной схемой. Для расчета конструкций с трансверсально-изотропными, ортотропными, анизотропными характеристиками могут использоваться универсальные программные комплексы, такие как ANSYS, NASTRAN и ABAQUS.

Заключение. В результате теоретического исследования следует вывод, что метод конечных элементов является более предпочтительным для деревянных конструкций. При анализе конструкций методом конечных элементов следует учитывать расчетные схемы конструкций: для древесины – это цилиндрическая анизотропная схема, для МДФ – ортотропная расчетная схема, для ДСтП – изотропная расчетная схема. Дальнейшее исследование направлено на изучение механических свойств материалов, которые могут быть использованы для построения имитационной модели.

Литература

1. Королев, В. И. Основы рационального конструирования мебели / В. И. Королев. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 192 с.
2. Трофимов, С. П. Конструирование и производство столлярно-строительных изделий / С. П. Трофимов, А. С. Пардаев. – Минск: БГТУ, 2011. – 521 с.

Поступила 21.02.2013