

3. *Мальшева М.А.* Современные технологии обучения и их роль в образовательном процессе [Текст] / М.А. Мальшева // Современные технологии обучения в вузе (опыт НИУ ВШЭ в Санкт-Петербурге). – СПб., 2011. – С. 6-25.
4. Рабочая программа дисциплины «Музыкальная информатика» [Текст] / Екатеринбург : ФГАОУ ВПО РГППУ, 2011. – 21 с.
5. *Ситникова Ж.Ю.* Системно-уровневый подход в преподавании курса «музыкальная информатика» [Текст] : дис. канд. пед. наук / Ж.Ю. Ситникова. – Екатеринбург, 2006. – 151 с.
6. *Федина Л.А.* Новые информационные технологии обучения как фактор повышения качества подготовки студентов в вузе [Текст] : автореферат дис. ... канд. пед. наук / Л.А. Самойлова. – Москва, 2007. – 26 с.
7. Формирование и развития многоуровневой образовательной системы: опыт Сибирской академии финансов и банковского дела [Текст] / Под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. Н.В. Фадейкиной. – Новосибирск : САФБД, 2007. – 419 с.
8. *Харуто, А.В.* Музыкальная информатика: Теоретические основы : Учебное пособие [Текст] / А.В. Харуто. – Москва : Издательство ЛКИ, 2009. – 400 с.

УДК 681.3

И.Е. Лешихина, Е.Ю. Мальцева

**ИНТЕРАКТИВНЫЙ ОБУЧАЮЩИЙ КУРС ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ПОДСИСТЕМ
ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА В СОВРЕМЕННЫХ САПР**

Лешихина Ирина Евгеньевна

Liy56@mail.ru

Мальцева Екатерина Юрьевна

teur@list.ru

ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский университет МЭИ, Россия, г. Москва

**AN INTERACTIVE TRAINING COURSE TO DEVELOP SUBSYSTEMS ENGINEERING
ANALYSIS IN MODERN CAD**

Leshikhina Irina Evgenievna

Maltseva Ekaterina Yurievna

RUSSIAN STATE HAVE national research University MPEI, Russia, Moscow

Аннотация. В данной статье рассмотрены особенности интерактивного учебного курса, разработанного на кафедре Вычислительной техники НИУ МЭИ, который решает задачу освоения математических основ метода конечных элементов (МКЭ), положенного в основу современных средств инженерного анализа. Интерактивный учебный курс позволяет поэтапно изучить возможности современных САПР – Pro/ENGINEER и SolidWorks для создания сложных сборок и грамотно выполнить инженерные расчеты с помощью средств инженерного анализа этих САПР.

Abstract. This article describes the features of the online training course, developed by the Department of computing, the crucial task of MPEI NRU mastering math basics of finite element method (FEM) underlying the modern engineering analysis. Interactive course allows you to

incrementally to explore the possibilities of modern CAD - Pro/ENGINEER and SolidWorks to create complex assemblies and competently perform engineering calculations using the engineering analysis of the CAD.

Ключевые слова: инженерный анализ; МКЭ; САПР; CAE-системы.

Keywords: engineering analysis; the Finite Element Method; CAD; CAE-system

Интерактивный обучающий курс, разработанный на кафедре Вычислительной Техники НИУ МЭИ, посвящен изучению средств и методов инженерного анализа на реальных примерах. Данный курс предназначен для облегчения и ускорения освоения методов инженерного анализа, реализованных в современных САПР, и основных принципов работы с ними.

Инженерный анализ — это достаточно широкое понятие, которое включает в себя весь комплекс необходимых вычислений для получения информации по прочности, жесткости, долговечности и устойчивости разрабатываемых конструкций, по расчету частот собственных колебаний и по определению динамических характеристик создаваемого оборудования в условиях действия вынуждающих силовых факторов. Кроме того, в инженерной практике приходится также решать задачи, связанные с тепловыми расчетами, проблемами термоупругости, пластичности, течения жидкости и газа [1].

В современном автоматизированном проектировании широко используются различные программные пакеты инженерного анализа (CAE-системы), позволяющие проводить инженерный анализ моделей и сборок, не прибегая к реальным экспериментам.

CAE-системы — это программные приложения, которые позволяют моделировать поведение исследуемого объекта в реальных условиях эксплуатации, с целью обнаружения ошибок или оптимизации производственных возможностей без привлечения больших затрат времени и средств.

Для пользователя CAE-систем, которые являются довольно сложными в освоении, важным является знание математических основ инженерного анализа и физических свойств изделия, инженерный анализ которого необходимо провести. Именно эти знания помогают пользователю CAE-систем правильно использовать их возможности и адекватно оценивать результаты инженерного анализа, проведенного в них. Свою основную функцию CAE-системы выполняют с помощью реализованных в них численных методов решения дифференциальных уравнений. К таким методам можно отнести: метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных объемов (МКО), метод конечных разностей (МКР) и др.

МКЭ и МКО являются сеточными методами, но МКО использует более специфические сетки (полиэдрическая сетка) и чаще используется в областях, где есть потоки жидкости или газа, например, обтекание потоками воздуха крыла самолета в авиастроении. МКО более популярен в гидрогазодинамике по сравнению с другими методами, прежде всего из-за трудностей при описании тонких пограничных условий.

По сравнению же с МКР, МКЭ позволяет работать с объектами со сложной геометрией и применяется для решения более сложных задач. Поэтому наиболее распространенным и эффективным расчетным методом, применяемым в CAE-системах, является именно МКЭ (*англ.* FEM - Finite Element Method) [2]. С помощью данного метода есть возможность

проведения таких расчетов, как анализ напряжения, деформации, определение теплообмена, вычисление распределения магнитного поля и др.

Системы, использующие в качестве численного анализа технических конструкций МКЭ, называют FEA-системами (Finite Element Analysis).

К специализированным FEA-системами можно отнести такие системы, как: T-FLEX, APM WinMachine 2010, APM Civil Engineering 2010, ABAQUS, ANSYS, Autodesk Simulation, ESAComp, MSC.Nastran, CAE Fidesys, Moldex3D, NEiNastran, NX Nastran, SAMCEF, FEM-models и др.

Среди САПР, в которых интегрирован функционал CAE и которые используют МКЭ как численный метод анализа, можно выделить Autodesk Inventor, SolidWorks, CATIA, Pro/ENGINEER(CREO), Solid Edge и др. МКЭ, применяемый для выполнения анализа твердотельных моделей и сборок, содержит в себе несколько обязательных для выполнения этапов, а именно: дискретизацию исследуемой области, которая представляет собой разделение области на непересекающиеся подобласти – конечные элементы; алгебраизацию – сопоставление каждому узлу конечно-элементной сетки неизвестной величины, к примеру, смещение, температура (в зависимости от типа анализа); задание граничных условий и материала; формирование и решение системы уравнений, связывающей граничные условия с неизвестными. По способу получения основных уравнений и по методу их решения МКЭ можно разделить на 4 вида: прямой, вариационный, взвешенных невязок и энергетического баланса.

При создании интерактивного обучающего курса большое внимание было уделено математическим основам МКЭ, т.к. освоение этого математического аппарата является основой понимания результатов работы CAE-систем.

Для эффективного освоения возможностей систем инженерного анализа необходимо также выбрать предметную область, на примере которой можно показать, какие этапы необходимо выполнить для осуществления инженерных расчетов. Такой предметной областью в данном обучающем курсе является монолитное строительство. Следует отметить, что первоначально МКЭ разрабатывался как метод строительной механики и только потом получил более широкое распространение в других отраслях. Для инженерного анализа использованы две сборки - крупнощитовая опалубка серии "ГАММА" и опалубка круглой колонны. Их твердотельные модели показаны на рис. 1.

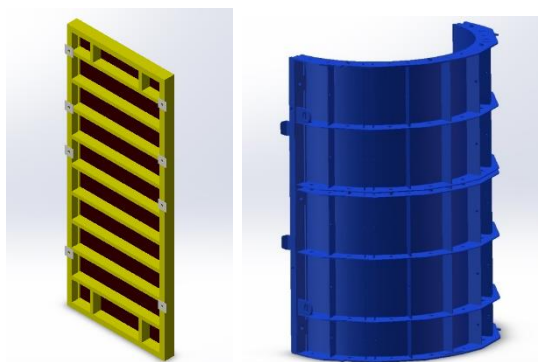


Рис. 1. Твердотельные модели опалубки серии "ГАММА" и опалубки круглой колонны

При разработке обучающего курса прежде всего был сделан обоснованный выбор средств проектирования и инженерного анализа, т.е. конкретных САПР, в которых

выполняется твердотельное моделирование и непосредственно инженерные расчеты. На кафедре Вычислительной техники НИУ МЭИ в связи с ее участием в Академической программе компании PTC (США), традиционно, в качестве САПР для создания твердотельных моделей и сборок используется САПР Pro/ENGINEER (Creo). Поэтому каждая из этих сборок разрабатывалась в этой САПР, а также в другой популярной САПР - SolidWorks.

Каждая из этих САПР имеет собственную подсистему инженерного анализа: для проведения инженерного анализа с применением МКЭ в САПР SolidWorks предусмотрен специальный дополнительный модуль Simulation; в САПР Pro/ENGINEER для проведения анализа твердотельных моделей предусмотрен дополнительный пакет Mechanical. В обучающем курсе показаны основные этапы выполнения инженерных расчетов в той и другой системе на примере инженерного анализа разработанных сборок. При освоении курса можно выполнять все этапы самостоятельно в одной из выбранных САПР, руководствуясь разработанными индивидуальными заданиями.

Рассмотрим подробнее структуру интерактивного обучающего курса.

Обучающий курс состоит из двух основных частей: теоретической и практической.

Теоретическая часть посвящена изучению особенностей расчетного метода анализа (МКЭ), особенностей предметной области (монолитное строительство), в ней дано краткое описание тех САПР, которые применяются для практического освоения рассмотренного метода (SolidWorks, Pro/ENGINEER). Теоретическая часть обучающего курса состоит из следующих разделов:

- Теоретические основы инженерного анализа (МКЭ);
- Опалубочные системы в строительстве;
- Информация о системе SolidWorks;
- Информация о системе Pro/ENGINEER.

Практическая часть посвящена освоению методов инженерного анализа на примере твердотельных моделей опалубки серии "ГАММА" и опалубки круглой колонны, созданных в САПР SolidWorks и Pro/ENGINEER. Примеры рассматриваются с учетом особенностей использования МКЭ. При выполнении этих примеров выделяются основные шаги метода, а также приводятся выводы, замечания и рекомендации, необходимые для более осознанного выбора тех или иных параметров исследования. Таким образом, практическая часть курса включает разделы:

- Анализ опалубки серии "ГАММА" в подсистеме SolidWorks Simulation;
- Анализ опалубки серии "ГАММА" в подсистеме Pro/ENGINEER Mechanical;
- Анализ опалубки круглой колонны в подсистеме SolidWorks Simulation;
- Специальные символы обучающей системы.

При выполнении практических заданий в обучающем курсе все этапы инженерного анализа твердотельной модели сопровождаются иллюстрациями и подробными пояснениями, что позволяет синхронизировать онлайн освоение курса с выполнением всех необходимых этапов в изучаемых САЕ-подсистемах САПР SolidWorks и САПР Pro/ENGINEER.

Особое внимание при выполнении инженерных расчетов отводится следующим этапам: задание материала, задание нагрузки, задание креплений, выбор сетки и ее параметров для выполнения расчетов с помощью МКЭ. Итогом выполнения инженерного анализа являются результаты, представленные в виде числовых характеристик и эпюр, показывающих

распределение величины нагрузки на объект. Результирующие эпюры деформации и перемещения, полученные по результатам работы пакета Mechanica САПР Pro/ENGINEER для крупнощитовой опалубки серии "ГАММА" при гидростатическом давлении, показаны на рис.2.

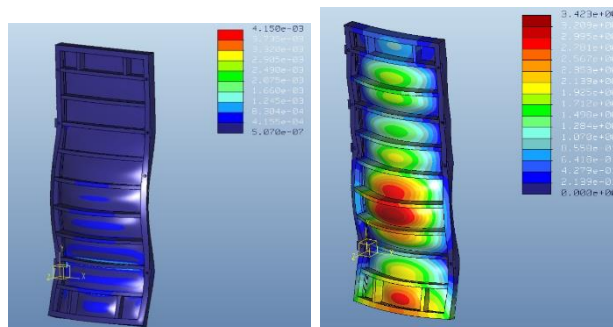


Рис. 2. Результирующие эпюры деформации и перемещения

При разработке обучающего курса предполагалось, что он должен быть доступен в среде Интернет, для возможности работы как на домашнем компьютере, так и в локальной сети в случае его использования, например, на лабораторных работах для группы студентов. Обучающий курс был реализован в виде web-сайта, для разработки которого использованы такие популярные средства разработки web-страниц, как HTML, CSS, JavaScript (библиотека jQuery) [3]. При разработке сайта был использован готовый шаблон, написанный с помощью Bootstrap v2.3.2.

В настоящее время разработанный обучающий курс используется в рамках лабораторных и практических занятий студентов, обучаемых по профилю «Системы Автоматизированного проектирования» направления «Информатика и Вычислительная техника», в частности, при освоении дисциплины «Геометрическое моделирование в САПР».

Список литературы

1. Шелофаст, В.В. Использование систем инженерного анализа для повышения качества проектирования [Текст] / В.В. Шелофаст, Е.Г. Стайнова // НМ-ОБОРУДОВАНИЕ. — 2005. — № 1. — С. 34-37.
2. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) [Текст] / К. Ли — Спб. : Питер, 2004. — 560 с.
3. Квинт, И. HTML, XHTML и CSS на 100%. [Текст] / И. Квинт — Спб. : Питер, 2010. — 384 с.

УДК 378.1

С.Н. Маловечко
ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ
НА ФАКУЛЬТЕТЕ «ЭКОНОМИКА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО»
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Маловечко Сергей Николаевич

labsec@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ),

Россия, г. Челябинск