

лесообразность использования онтологических моделей для более адекватного представления онлайн ресурсов электронного обучения, обеспечивающего совместимость формата запроса пользователя с описаниями учебных ресурсов от разных разработчиков.

• определена архитектура системы поддержки электронного обучения по выбору онлайн ресурсов для дальнейшего их включения в индивидуальную траекторию обучения студента. Разрабатываемая система реализуется в виде набора персональных агентов и сервисов, которые взаимодействуют на основе базы знаний, представленной в виде комплекса взаимосвязанных онтологических моделей. Система рекомендует ресурс в зависимости от текущих запросов и характеристик пользователя в соответствии с его профилем. В процессе работы система динамически обновляет базу знаний о текущих характеристиках пользователя, тем самым повышая эффективность формируемых рекомендаций.

Список литературы

1. Aroyo L. Dicheva D. The New Challenges for E-learning: The Educational Semantic Web // Educational Technology & Society. 2004. No. 4. P. 59–69.
2. Montuschi P., Lamberti F., Gatteschi V., Demartini C. A semantic recommender system for adaptive learning // IT Prof. 2015. Vol. 17. No. 5. P. 50–58.
3. Rani M., Nayak R., Vyas O.P. An ontology-based adaptive personalized e-learning system, assisted by software agents on cloud storage // Knowledge-Based Syst. 2015. Vol. 90. P. 33–48.
4. Dzbor M., Motta E., Stutt A. Achieving higher-level learning through adaptable Semantic Web applications // Int. J. Knowledge and Learning. 2005. 1(1/2). P. 25–43.
5. Rani M., Srivastava K.V., Vyas O.P. An ontological learning management system // Comput. Appl. Eng. Educ. 2016. Vol. 24. No. 5. P. 706–722.

УДК 519.6

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-232

*Солодилова Наталья Алексеевна*¹,

канд. техн. наук, доцент;

*Петраш Виктор Иванович*²,

канд. техн. наук, доцент

ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В БАЗОВОМ МОДУЛЕ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ В ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия,

¹ solodilova_na@spbstu.ru, ² petrash_vi@spbstu.ru

Аннотация. В статье обоснована необходимость изучения технологии анализа проектируемого объекта методом конечных элементов в базовой подготовке инженера-машиностроителя. На примере дисциплин «Вычислительная математика» и «САПР в машиностроении» показано использование междисциплинарного

подхода, позволяющего комплексно применять теоретические знания и практические навыки, полученные при изучении разных дисциплин.

Ключевые слова: метод конечных элементов, система автоматизированного проектирования, САПР, система инженерного анализа, конечно-элементный анализ, прочностной анализ.

*Natalia A. Solodilova*¹,

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor;

*Victor I. Petrash*²,

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

DIGITAL MODELING TECHNOLOGIES IN THE BASIC MODULE BACHELOR'S DEGREE IN MECHANICAL ENGINEERING

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,
¹ solodilova_na@spbstu.ru, ² petrash_vi@spbstu.ru

Abstract. The article substantiates the need to study the technology of analysis of the projected object by the finite element method in the basic training of a mechanical engineer. Based on the courses "Computational mathematics" and "CAD in mechanical engineering" is shown using an interdisciplinary approach, allowing to apply the theoretical knowledge and practical skills gained when studying different disciplines.

Keywords: finite element method, computer-aided design, CAD, computer-aided engineering, finite element analysis, strength analysis.

Введение

Системный анализ в области высшего образования позволяет построить стройную последовательность изучаемых дисциплин с целью овладения студентами требуемыми компетенциями. Это достигается путем логической связи ранее изучаемых дисциплин, как базовых, с последующими дисциплинами, дополняющими и углубляющими полученные ранее знания и навыки. В полной мере это относится и к подготовке специалистов в области машиностроения.

Одним из ключевых компонентов и систем современного производственного предприятия является цифровое моделирование и оптимизация процессов и продуктов компании, включая инженерный анализ, виртуальное прототипирование и анализ методом конечных элементов (МКЭ). Различные способы моделирования – от физических процессов и отдельных сборочных единиц до технологических процессов и производства в целом – широко используются на всех ведущих производственных предприятиях сегодня, обеспечивая их отраслевое лидерство [1]. На сегодняшний день вряд ли возможно представить успешно функционирующее высокотехнологичное предприятие, не использующее цифровые технологии по крайней мере на некоторых этапах [2].

1. Постановка задачи

Успех в профессиональной деятельности современного инженера напрямую зависит от навыков владения инструментами автоматизации проектирования. Опыт преподавания показывает, что начать освоение технологий автоматизированного проектирования (САПР) лучше на примере систем среднего уровня. В результате анализа таких требований, как наличие базового функционала, достаточного для решения большинства производственных задач, широкое использование на предприятиях, в том числе, в связи с реализацией программы импортозамещения, эффективное сотрудничество вендора программного комплекса с учебным заведением был сделан выбор в пользу отечественной САПР КОМПАС-3D [3 – 7].

Образовательные стандарты высшего образования СПбПУ по направлениям подготовки бакалавров 15.03.01 «Машиностроение» и 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», среди прочих, устанавливают общепрофессиональные компетенции «Способен использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности» и «Расчет и проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования».

Важное место в проектировании деталей и узлов машиностроительных конструкций занимает проведение для них различных прочностных и тепловых расчетов для определения возникающих в них напряжений и деформаций.

Одним из методов, который нашел широкое применение в области инженерного анализа в системах автоматизации проектирования, является метод конечных элементов.

Разнообразные варианты МКЭ положены в основу эффективного решения различных инженерных задач в системах инженерного анализа (CAE): прочностных расчётов, анализа аэро-, гидро-, термодинамических процессов, расчётов и симуляции процессов литья, штамповки и т. д.

В связи с этим при подготовке специалистов в области машиностроения необходимым является получение ими теоретических знаний и практических навыков использования МКЭ для расчета деформаций и напряжений в деталях и узлах машиностроительных конструкций.

2. Знакомство с МКЭ в рамках дисциплины «Вычислительная математика»

Знакомство студентов Высшей школы машиностроения с МКЭ начинается в весеннем семестре второго курса в рамках дисциплин «Вычислительная математика» и «САПР в машиностроении».

В дисциплине «Вычислительная математика» на лекциях и лабораторных работах изучается решение дифференциальных уравнений в частных производных в MATLAB с помощью приложения **pdetool** [8].

С помощью этого приложения используя МКЭ можно решать плоские задачи математической физики, описываемые уравнениями эллиптического, параболического и гиперболического типов при краевых условиях Дирихле (первая краевая задача) или Неймана (вторая краевая задача).

В построенной области решения задачи с помощью команды генерируется конечно-элементная сетка. В случае необходимости она может быть изменена путем увеличения числа конечных элементов. При необходимости можно показать номера конечных элементов и узлов сетки.

На лекциях студенты знакомятся с общими принципами МКЭ, особенностями его использования и реализации с помощью приложения **pdetool**. Показывается преимущество МКЭ перед методом конечных разностей.

На лабораторных работах студенты закрепляют полученные теоретические знания путем решения практической задачи (уравнения Лапласа с заданными граничными условиями). При этом задача решается двумя способами: с помощью МКЭ и конечных разностей. В результате студенты убеждаются в одинаковости полученных результатов.

3. Использование МКЭ для проведения прочностного анализа

В рамках курса «САПР в машиностроении» студенты знакомятся с реализацией МКЭ на примере продукта, относящегося к классу САЕ, системы прочностного анализа АРМ FEM, интегрированной САПР КОМПАС-3D. Приложение АРМ FEM позволяет выполнять экспресс-расчёты твердотельных объектов и визуализировать результаты этих расчётов.

Используя приложение АРМ FEM студентам предлагается выполнить прочностной анализ одной из деталей, входящих в сборку или, по желанию, подсборки. Этому предшествует получение навыков трёхмерного моделирования деталей при помощи основных формообразующих операций, создания массива элементов, моделирования листовой детали, моделирования сборочных моделей, создания ассоциативных чертежей и спецификаций, связанных с моделями чертежами и сборками [9 – 11].

Функционал АРМ FEM включает набор инструментов, позволяющих выполнить предварительный анализ проектируемой конструкции и предназначен для обычных конструкторов. Доступны следующие виды расчета:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- тепловой расчет.

В процессе выполнения анализа студенты подготавливают модель к расчёту – задают закрепления и нагрузки (рис. 1). Возможно задание восьми видов нагрузки: давление, угловое ускорение, распределённый момент, распределённая сила, удельная сила по длине, температура, линейное ускорение, удельная сила по площади.

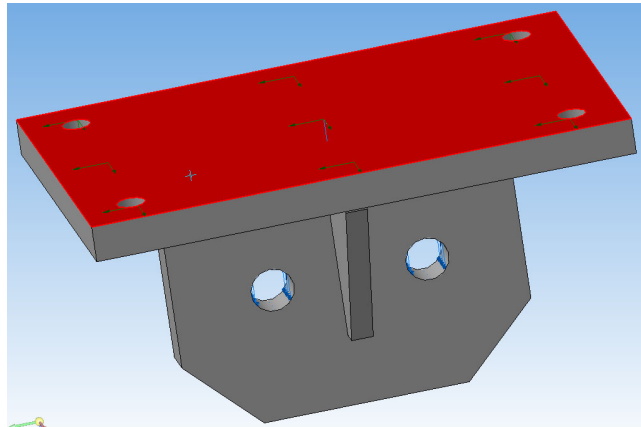


Рис. 1. Задание закреплений и приложение нагрузки

Следующий этап – генерация конечно-элементной сетки. Грамотно задать параметры сетки (выбрать тип конечного элемента, задать максимальную длину стороны элемента, максимальный коэффициент сгущения на поверхности и коэффициент разрежения в объёме) и визуально проконтролировать качество конечно-элементного разбиения помогут знания, приобретённые в курсе «Вычислительная математика». Результат выполнения этого этапа иллюстрирует рисунок 2.

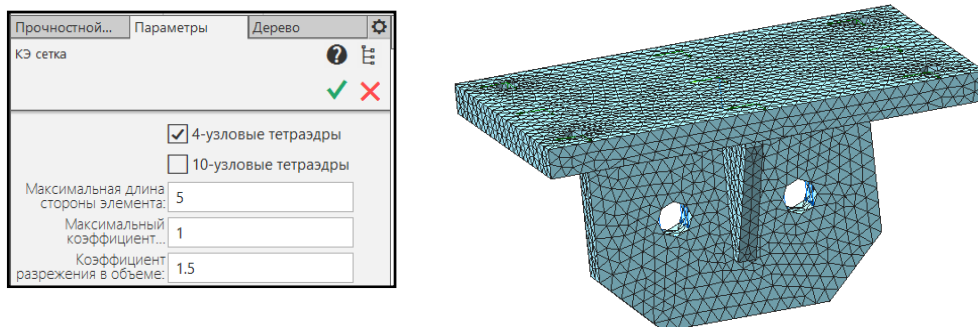


Рис. 2. Пример сгенерированной сетки

Далее выполняется расчёт модели. Предварительно выбираются необходимые виды расчёта из перечня, приведённого выше, и настраиваются параметры расчёта, такие как выбор метода решения конкретной задачи, точность решения, максимальное количество итераций.

Результаты расчётов представляются в виде карт результатов (рис. 3, 4), для которых также предоставлены широкие возможности настройки опций параметров вывода, диалоговых окон с информацией об инерционных характеристиках, частотах собственных колебаний с возможностью просмотра формы колебаний для выбранной частоты (рис. 5), коэффициентом запаса устойчивости с просмотром формы потери устойчивости. Результаты расчёта могут быть сохранены в файл отчёта в формате html или xml.

В результате выполнения практического задания студенты приобретают навыки проведения предварительного прочностного анализа проектируемой модели.

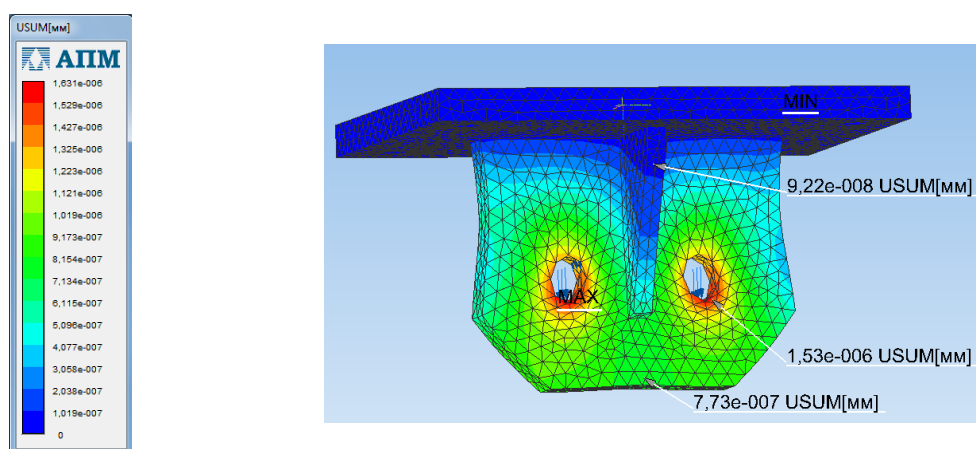


Рис. 3. Карта перемещений

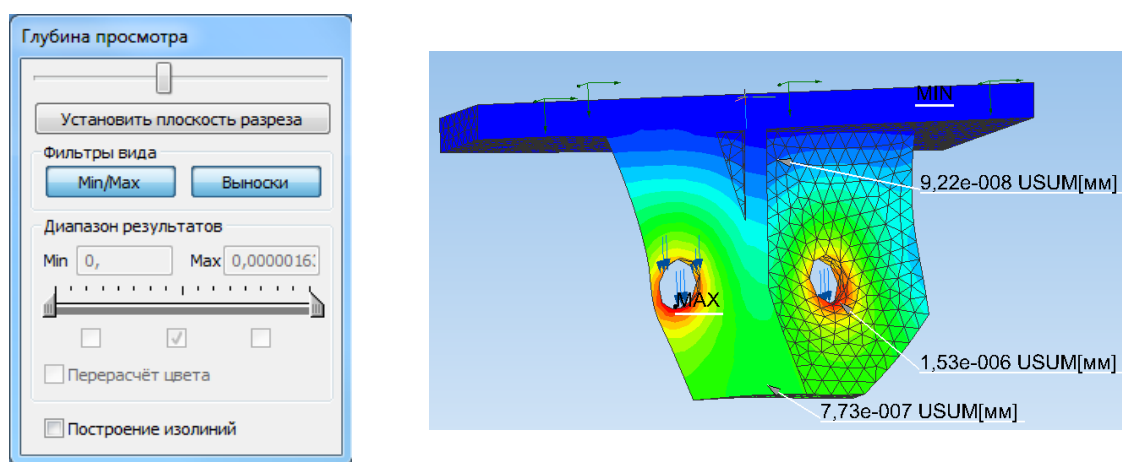


Рис. 4. Просмотр результатов внутри модели

Частоты собственных колебаний										
Собственные частоты			Модальные массы (м.м.) и суммы модальных масс (с.м.м.) по направлениям							
N	[рад/с]	[Гц]	[с]	м.м. X [...]	с.м.м. X ...	м.м. Y [...]	с.м.м. Y ...	м.м. Z [...]	с.м.м. Z ...	
1	42936.2	6833.52	0.0001...	1.08e-05	1.08e-05	20.5	20.5	1.6e-05	1.6e-05	
2	72625.7	11558.7	8.6514...	0.000524	0.000534	0.00312	20.5	1.79e-09	1.6e-05	
3	80644.1	12834.9	7.7912...	24.9	24.9	9.56e-06	20.5	9.11e-06	2.51e-05	
4	149387	23775.8	4.2059...	4.95e-06	24.9	7.18	27.7	0.000106	0.000131	
5	175714	27965.8	3.5758...	1.22e-05	24.9	2.41e-05	27.7	30.1	30.1	

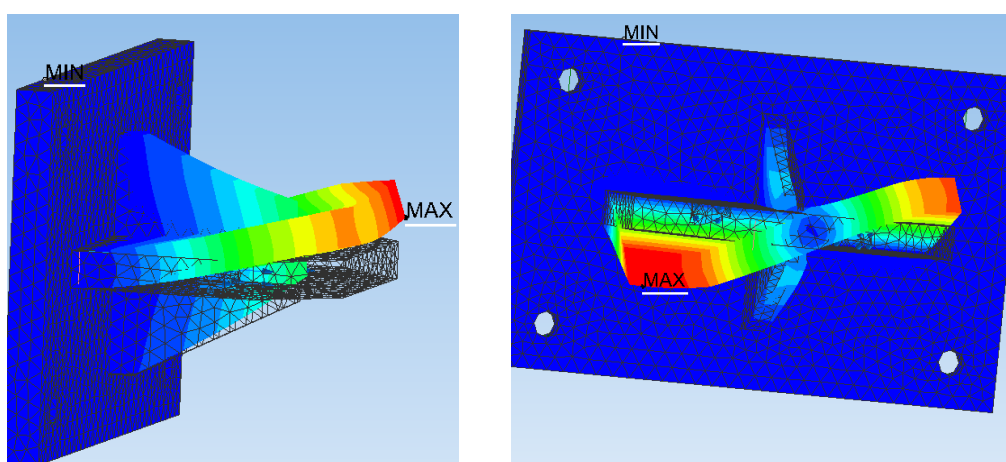


Рис. 5. Просмотр результатов расчёта собственных колебаний

Заключение

Полученные в рамках этих курсов знания и практические навыки будут использованы студентами на старших курсах в рамках дисциплин вычислительная механика, введение в технологии виртуального инжиниринга, автоматизация технологической подготовки производства, основы технологии машиностроения и в выпускных квалификационных работах.

Таким образом, использование системного анализа позволяет построить в Высшей школе машиностроения стройную систему последовательного изучения использования МКЭ при подготовке специалистов в области машиностроения.

Список литературы

1. Биленко П.Н., Лысенко С.Л. Ключевые системы и компоненты цифрового производственного предприятия // Доклад «Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии». 2018. С. 16–23. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04_april/12/cifrovoe-proizvodstvo-032018.pdf (дата обращения 25.02.2020).

2. Боровков А.И., Марусева В.М., Рябов Ю.А. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Доклад «Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии». 2018. С. 24–43. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04_april/12/cifrovoe-proizvodstvo-032018.pdf (дата обращения 25.02.2020).

3. Кочергин В.С., Привалов Э.Н. Современные методики преподавания САПР в высших учебных заведениях машиностроительного профиля // Образование. Наука. Карьера. Сборник научных статей Международной научно-методической конференции. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2018. С. 228–232.

4. Надеин В.В., Кувырталова М.А. Педагогические условия реализации инновационных технологий при изучении студентами вуза – будущими инженерами графических дисциплин // Материалы научной конференции научно-педагогических работников, аспирантов, магистрантов «Университет XXI века: научное измерение». Тула: ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2019. С. 87–92.

5. Янченко В.С. Импортзамещение САПР, опыт преподавания графических сред NANOCAD, КОМПАС // Материалы научно-методической конференции «Современные проблемы высшего профессионального образования», 01 апреля – 31 мая 2015 г., Брянск. Брянск: Издательство Брянской гос. инженерно-технологической академии, 2015. С. 84–86.

6. Нигметзянова В.М. Методологические основы преподавания дисциплины САПР на примере системы UNIGRAPHICS NX // Актуальные проблемы инновационного педагогического образования. 2018. № 3 (6). С. 18–21.

7. Солодилова Н. А. Новые технологии проектирования в рамках дисциплины «САПР в машиностроении» // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XXIII Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 3. СПб.: Изд-во Политех-Пресс, 2019. С. 391–397.

8. Петраш В. И. Вычислительная система MATLAB. Учебное пособие. СПб., 2020. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/s20-5.pdf> (дата обращения 26.02.2020).

9. Бортяков Д.Е., Мещеряков С.В., Солодилова Н.А. Основы проектной деятельности. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования: учебное пособие / Под ред. С.В. Мещерякова. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 152 с.

10. Мещеряков С.В., Солодилова Н.А. Автоматизация машиностроительного проектирования в САПР КОМПАС-3D. Ч. 1. Создание трехмерных моделей деталей: учеб. Пособие. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. 169 с.

11. Донская М.М., Солодилова Н.А. САПР в машиностроении. Компас-график, Компас-3D, Вертикаль, Библиотека анимации [Электронный ресурс]: учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2013. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2948.pdf> (дата обращения 28.02.2020).