

НОВЫЕ СТРАТЕГИИ ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕД ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОТКРЫТЫХ УЧЕБНЫХ ПЛАТФОРМ

**Б. Зупанчич, Г. Мьюзик (Любляна, Словения), И. В. Новопащенко (Бремен, Германия),
А. Уркия (Мадрид, Испания), В.А. Рыжов, Ю.Б. Сениченков, Б.В. Соколов (Санкт-Петербург),
Ю.В. Шорников (Новосибирск)**

В 2017 г. стартовал проект INMOTION, цель которого – разработать новые учебные программы и внедрить новые технологии обучения в инженерное образование. Курсы «Моделирование для инженеров», «Компьютерные технологии моделирования» рассматриваются как базовые, фундаментальные дисциплины инженерного образования. Рекомендуемые технологии обучения поощряют самостоятельность и инициативу студентов при выборе тем для изучения, помогают им научиться работать коллективно, выполняя учебные задания в соответствии с ими же составленными и контролируемые графиками.

На бакалаврском уровне студенты изучают основы моделирования, как метода исследования и проектирования технических устройств.

На магистерском уровне студенты овладевают современными компьютерными технологиями моделирования, востребованными промышленными предприятиями.

Аспиранты учатся создавать новые инструменты моделирования и пытаются расширить области применения компьютерного моделирования.

Проект предусматривает создание общедоступного сайта, где будут размещены материалы, связанные с преподаванием моделирования для инженеров.

Современные образовательные технологии стараются сделать студента активным участником учебного процесса: предлагают ему самостоятельно выбирать интересующие его темы и формировать свою, индивидуальную программу обучения, активно общаться с студентами и преподавателями других университетов, широко использовать удаленные ресурсы.

Основной целью проекта InMotion является продолжение реформы системы высшего инженерного образования для повышения качества образования и обучения в соответствии со стандартами и приоритетами Стратегической рамочной программы европейского сотрудничества в области образования и профессиональной подготовки (ЕТ 2020 – Бухарестское и Ереванское коммюнике).

В результате совместной работы:

- будет создан общедоступный сайт, который сосредоточит новые образовательные ресурсы – учебники, презентации лекций, видео-лекции, методические указания, и другие компоненты дистанционного обучения с учетом международных стандартов и возможностей;
- открытый сайт позволит учащемуся осознанно выбирать альтернативные курсы и темы, тем самым делает его полноправным участником учебного процесса: студент сможет самостоятельно изучать, проверять и контролировать уровень своих знаний, используя конспекты лекций, видеоматериалы, тесты и контрольные вопросы;
- преподаватели университетов-участников проекта одновременно являются членами Европейской федерации национальных обществ моделирования Eurosim и давно используют в учебном процессе среды визуального моделирования Simulink (Словения), Modelica (Испания, Словения), Rand Model Designer, ИСМА (Россия, Испания), что позволяет надеяться на создание современных, учитывающих потребности промышленности, курсов по моделированию для инженеров (CMSE);

- совместный сайт должен способствовать внедрению новых образовательных технологий, появлению новых форм сотрудничества между университетами-партнерами, привлечению внимания других университетов и отдельных преподавателей к новым образовательным технологиям;

- представители промышленности получают доступ к открытым общедоступным курсам (МООС) для повышения квалификации своих специалистов.

Основные ожидаемые результаты проекта:

- обновленная учебная программа с новыми учебными планами в области компьютерного моделирования для инженерных специальностей;

- новые учебники и методические указания по компьютерному моделированию;

- новые материалы для дистанционного обучения, основанные на инновационных обучающих стратегиях и творческих подходах к обучению, таких как: подход eScience, совместная платформа для индивидуального и группового обучения, виртуальные лаборатории для изучения и сравнения современных пакетов и языков моделирования: Matlab, Simulink, RMD, Modelica, ISMA, Wolfram SystemModeler;

- открытые онлайн-курсы (МООС) в области компьютерного моделирования (CMSE) для широкого круга инженерных задач.

В этой статье мы сосредоточимся в основном на российских проблемах, в дальнейшем, по мере развития проекта, будет возможно провести сравнительный анализ положения дел во всех странах–партнерах.

Моделирование и образование. Нужно ли что-либо менять?

Исходной точкой была неудовлетворенность участников проекта положением с преподаванием компьютерного моделирования в технических университетах.

Термин компьютерное моделирование требует уточнения. В нашем случае под компьютерным моделированием понимается математическое моделирование, осуществляемое с помощью различных программных средств (сред моделирования), позволяющих создавать, исследовать и использовать модели для изучения явлений и проектирования новых устройств. Из всех видов математических моделей будем рассматривать только модели сложных динамических систем и имитационные модели и соответствующие им программные средства. Иными словами, нас интересует математическое моделирование динамических систем, непрерывных и дискретных, с «сосредоточенными параметрами», описываемых обыкновенными дифференциальными или разностными уравнениями и алгоритмически заданными моделями («моделирующими алгоритмами» в понимании Н.П. Бусленко [1]).

Образование решает две параллельные задачи: готовит востребованных специалистов, знания, умения и навыки которых определены современным производством, и специалистов с «упреждающими» знаниями, способных создавать и применять новые технологии и тем самым формировать новые запросы науки и промышленности к университетам.

Российские участники проекта пытались получить ответы на следующие вопросы: «Как используется компьютерное моделирование на предприятиях в России», «Как преподается компьютерное моделирование инженерам», «Какие новые технологии можно и нужно использовать в образовании», «Какие среды визуального моделирования сложных динамических систем использовать в университетах для обучения».

Первые два вопроса – ключевые, а именно: что востребовано сейчас и что будет востребовано в ближайшем будущем.

С точки зрения производства, компьютерное моделирование – это один из этапов производства, связанный:

- с исследованиями (это могут позволить себе только большие предприятия),
- с расчетами вариантов (типичное использование готовых моделей);
- с созданием компьютерных прототипов разрабатываемых устройств (для ускорения разработки и сокращения объема приемных испытаний);
- и с обучением персонала (тренажеры).

В соответствии с этим строится классификация программных систем (таблица) так или иначе связанных с моделированием (<http://www.tadviser.ru/index.php>).

Таблица

Использование компьютерного моделирования на предприятиях в России.

Системы проектирования и производства	
<ul style="list-style-type: none"> • Система автоматизации проектных работ (САПР, CAD) • CAE-система • САМ-система • PDM-система 	<ul style="list-style-type: none"> • PLM-система • АСУТП (Системы SCADA) • АСТПП (Системы MES)
Научное ПО	
<ul style="list-style-type: none"> • Система математического и статистического расчёта и анализа 	<ul style="list-style-type: none"> • Система компьютерного моделирования

Получить объективные сведения об использовании современных технологий моделирования на российских предприятиях чрезвычайно сложно, об этом пишут многие, в частности об этом же два года назад на этой конференции говорил А. В. Борщев (<http://simulation.su/uploads/files/default/2015-immod-14-22.pdf>). Очевидно одно, что моделирование сейчас у всех на слуху, к нему обращаются и потому, что нужно, и потому, что модно, практически во всех областях. Модели, нужные производству, в основном заказываются «на стороне». Разработанные модели затем используются на предприятиях продолжительное время, так как появление нового образца в линейке продуктов, требующего принципиально новой модели, особенно при финансовой успешности существующих, дело долгое. Как и с помощью каких технологий была создана модель, заказчика интересует редко, и уж тем более редко возникает желание самостоятельно изготовить нужные себе инструменты. Вот характерное высказывание, и не важно, что оно относится к использованию математических моделей другого класса. «Что сдерживает российские предприятия для применения программ математического моделирования:

- дорогостоящая лицензия. Не каждое промышленное предприятие может позволить себе программу стоимостью 50000 евро;
- необходимость хорошо подготовленного и обученного персонала. Не секрет, что для освоения этими программными продуктами необходима как хорошая начальная подготовка, так и необходимость обучения. Такое обучение весьма недешево и дает результат только при постоянном использовании этих навыков. Самостоятельное же изучение данных программ (особенно LS-Dyna) сложно и требует немалых усилий (и, как правило, не один год);
- необходимость в наличии высокопроизводительных компьютерных машин одно их важных условий успешного использования программ конечно-элементного анализа.

Немаловажным условием развития данного направления является поддержка со стороны руководства предприятия» <http://www.ulniat.ru/> – Ульяновский научно-исследовательский институт авиационной технологии и организации производства.

На наш взгляд, пока позиция предприятий такова: модели выгоднее заказывать, чем покупать среды разработки или создавать их самостоятельно. Выбор технологии моделирования не столь важен, если созданная модель обеспечивает требуемое быстродействие для выбора вариантов; издержки на разработку моделей все равно окупятся за время продолжительного использования модели, поэтому можно не говорить о цене их изготовления.

Что же должно произойти, чтобы использование на предприятиях современных сред моделирования для разработки нужных моделей, вместо «ручного» изготовления моделей на стороне, стало выгодным предприятию? Модели должны стать товаром – так происходит, например, с тренажерами для обучения персонала, когда виртуальные объекты сочетаются с реальными системами управления и контроля и работают в реальном времени. Модели должны работать быстрее – быстродействие моделей, изготовленных предприятиями самостоятельно с помощью универсальных сред моделирования, может возрасти за счет распараллеливания вычислений и применения облачных технологий. Обратите внимание, что Matlab, Maple, Mathematica уже начинают предлагать свои версии программ для моделирования на супер-ЭВМ. Модели должны способствовать более эффективной реализации товаров и услуг, что сейчас наблюдается в той же логистике.

Моделирование – фундаментальная инженерная дисциплина

Второй группой пользователей сред визуального моделирования, после больших предприятий с широким ассортиментом новой сложной техники, являются университеты. Немаловажную роль в этом сыграла возможность превращать модель в «виртуальную реальность», используя современные средства визуализации. Математические пакеты Matlab, Maple, Mathematica известны сравнительно давно, и они всегда занимали свою особую нишу при изучении математики и численных методов, но их широкое распространение среди инженеров сдерживает именно «математический язык», как язык моделирования, и «математическая графика», как средство визуализации. Пытаясь расширить сферу применения математических пакетов разработчики Maple и Mathematica создали свои пакеты по моделированию MapleSim и SystemModeler с языками моделирования, ориентированными на инженеров, и различными способами визуализации моделируемых объектов.

Виртуальные объекты в образовании позволяют:

- изучать – получать знания, взаимодействуя с виртуальной реальностью (моделями, оснащенными образами изучаемых объектов, их также называют дополненной реальностью);
- получать первоначальные навыки работы со сложной техникой (тренажеры).

Ехидно заметим, что существование математических пакетов и сред визуального моделирования само по себе благо для университетов: пакеты и среды можно изучать как самостоятельную сущность, не задумываясь об их применении, и студенты с удовольствием это делают.

Роль моделирования в учебных планах в последнее время только возрастает, и это особенно заметно в планах для физико-математических специальностей:

Бакалавры

01.03.03 Механика и математическое моделирование

01.03.04 Прикладная математика

02.00.00 Компьютерные и информационные науки

02.03.01 Математика и компьютерные науки

- 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии
- 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем (ИТ)
- 03.03.01 Прикладные математика и физика
- Магистры
- 01.04.03 Механика и математическое моделирование
- 01.04.04 Прикладная математика
- 02.04.01 Математика и компьютерные науки
- 02.04.03 Фундаментальная информатика и информационные технологии
- 02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование ИТ
- 03.04.01 Прикладные математика и физика

При этом выпускников по математическим специальностям гораздо меньше, чем инженеров (приблизительно один к десяти, если просто сосчитать число университетов, выпускающих математиков и инженеров; эти данные легко проверить, заглянув на образовательные сайты), и именно к ним по большей части обращаются предприятия, если нужно создать новую модель. Таким образом, в существующей схеме образования инженеры – «пользователи» моделей, и их учат разве что эксплуатировать существующие модели, характерные для каждой конкретной области. Именно это положение и предлагается изменить, то есть повысить уровень знаний будущих инженеров в области моделирования, предложив им изучать «Основы математического моделирования» и «Современные технологии компьютерного моделирования» как фундаментальные дисциплины инженерного образования и тем самым помочь предприятиям в ближайшем будущем быстрее и эффективнее самостоятельно внедрять современные компьютерные технологии.

Это, прежде всего, касается группы инженерных специальностей:

- 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
- 09.03.02 Информационные системы и технологии
- 09.03.03 Прикладная информатика
- 09.03.04 Программная инженерия

Роль специалистов-математиков останется прежней – создавать новые методы и инструменты, а вот для внедрения новых методов возникнут более благоприятные условия за счет повышения уровня образования пользователей-инженеров. Повышение уровня математического образования инженеров происходит постоянно, например, так произошло относительно недавно с дисциплиной «Вычислительная математика», без которой уже немислимо инженерное образование.

Среды визуального моделирования и новые образовательные технологии

Для изучения моделирования как нельзя лучше подходят современные образовательные технологии, ориентированные на повышение роли студента в образовании. Повышению роли самостоятельного изучения дисциплин способствует и появление систем управления курсами, таких как SAKAI, MOODLE. Помимо возможности контролировать процесс обучения (посещаемость, контроль и самоконтроль) они позволяют собирать и систематизировать учебные материалы – электронные учебники и методические указания, конспекты лекций, видео-лекции.

Наконец, с появлением работоспособных облачных технологий постепенно начинает решаться проблема дефицита учебных аудиторий, оснащенных современным лицензионным программным обеспечением – традиционные занятия в компьютерных классах теперь можно совмещать с доступом к программным продуктам по сети в удобное для студента время. Возможно, это повлияет и на использование пиратского программного обеспечения в образовании. При дефиците легальных учебных мест университеты сами вынуждают

студентов пользоваться пиратскими копиями. До этого «светлого будущего», правда, еще далеко, но будем надеяться, что это произойдет. Альтернативой «облачного» доступа к легальным копиям являются специальные «упрощенные», бесплатные версии продуктов, примером может служить OpenModelica, RMD trial.

Проект Inmotion предусматривает создание доступного всем участникам сайта, где уже сейчас располагаются новые версии учебных программ, разработанные университетами–участниками проекта, и где будут храниться учебные пособия, конспекты лекций, наборы учебных заданий для практических и лабораторных работ, разрабатываемые сейчас. Рабочий язык сайта английский, но российские участники проекта хранят там и материалы на русском языке.

За рубежом широко используют активные образовательные технологии. Это подтверждает опрос, проведенный специалистами Мадридского национального университета дистанционного образования. Они выделили технологии:

- проблемно-ориентированное обучение (Problem Based Learning), проектное обучение (Project Based Learning), проектно-ориентированное обучение (Project Oriented Learning), работа в команде (Team Based Learning), и электронные ресурсы;

- дополненная реальность (Augmented reality), электронные книги и библиотеки (E-books and digital libraries), системы управления курсами (Learning Management Systems (LMS)), игры (Games), интерактивные видео-лекции (Interactive Video Lectures), изучающая аналитика (Learning analytics), виртуальные лаборатории (Virtual Laboratories), удаленные лаборатории (Remote Laboratories), массовые открытые онлайн-курсы (MOOCS), портфолио студента (Portfolio), – и проанализировали их применение для обучения моделированию.

Проблемно-ориентированное и проектное обучение – достаточно старые образовательные технологии, но в прошлом, когда в распоряжении студента были только библиотечные книги и самостоятельная подготовка по ним к экзамену, как альтернатива изучения конспекта лекций, или к докладу на семинаре занимала много времени, или, когда университету было сложно создать условия для работы студента над реальным проектом на предприятии, эти формы применялись редко. Сегодня доступ к электронным ресурсам можно смело назвать свободным, а предприятия сами стремятся привлечь студентов к работе, и роль этих форм в обучении возрастает. Главным для преподавателя становится сохранить контроль за выбором изучаемых тем, а также за тем, чтобы при работе над реальным проектом на предприятии студенту не отводилась роль мальчика на побегушках.

Проблемно-ориентированное обучение прекрасно сочетается с работой команды: применение сред визуального моделирования предполагает изучение языка моделирования и руководств пользователя для работы со средой. И то, и другое можно сделать на семинарских занятиях, если поручить студентам самим учить своих сокурсников основам языков моделирования, подбирать примеры, объяснять особенности использования различных инструментов среды.

Виртуальные лаборатории, лаборатории с макетами реального оборудования, оснащенными программными средствами для измерения и управления, удаленные лаборатории (например, в университетах, где существуют супер-ЭВМ) широко используются участниками проекта (Новосибирск, Санкт-Петербург, Мадрид, Люблина).

В результате сделанного анализа востребованности различных ресурсов, в проекте Inmotion появилось новое направление работы, связанное с созданием общедоступных наборов задач, позволяющих студенту приобрести навыки создания моделей и проверить себя с помощью тщательно разобранных примеров.

Задачи разбиты на две группы – задачи для приобретения навыков моделирования каждым студентом самостоятельно, и задачи для работы команды из двух-трех студентов.

Учебники по моделированию проекта Inmotion

Начиная с 90-х годов прошлого столетия у нас в стране, на наш взгляд, возник дефицит современных книг, посвященных моделированию, как переводных, так и российских. Издаваемые книги можно условно разделить на три группы (см., например, <http://simulation.su/static/ru-books.html>). Первая, и самая многочисленная, посвящена математическим пакетам MathCAD, Matlab, Maple, Mathematica и среде визуального моделирования Simulink. Здесь и переводные книги, и книги российских авторов. Вторая группа посвящена языкам моделирования, где в основном обсуждается объектно-ориентированное моделирование, представленное «стандартом» UML. Третья группа публикаций касается российских сред визуального моделирования (AnyLogic, ИСМА, Rand Model Designer) и имитационного моделирования.

Казалось бы, о каком дефиците идет речь, если книги существуют и продаются, и достаточно дешево, если говорить об электронных копиях?

На наш взгляд, существует дефицит в учебниках и книгах, иллюстрирующих применение современных компьютерных технологий в прикладных областях. Приведем пример. В Европе чрезвычайно распространен пакет Dymola с входным языком Modelica (<https://www.modelica.org/>), изюминкой которого является «физическое» моделирование. Количество зарубежных публикаций, посвященных самой среде и ее применению, огромно. Среда имеет обширные прикладные библиотеки. У нас же публикаций, даже журнальных статей, посвященных проекту Modelica, не говоря об учебниках, очень мало. То же самое можно сказать о среде Ptolemy II (<http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/ptolemyII/>). Эти среды интересны не только сами по себе, не менее важны примеры их применения в промышленности. В свое время академик А.А. Самарский пытался активно пропагандировать моделирование как самостоятельную науку и ее важность для решения практических задач. В этот период (конец 20-го, самое начало 21-го века) резко возросло число научно-популярных книг и учебников. Достаточно упомянуть книгу «Самарский А.А., Михайлов А.П.. Математическое моделирование, 1997». Сейчас эту работу частично выполняет общество НОИМ, фиксируя издаваемые книги, но не имеет возможности способствовать изданию новых книг.

Работа над проектом Inmotion включает в себя написание учебников, посвященных моделированию сложных динамических систем. Сейчас готовятся к публикации следующие учебники.

Словения:

Maja Atansijevi'c-Kunc, Sa'so Bla'zi'c, Ga'sper Mu'si'c, Borut Zupan'ci'. Control – oriented modelling and simulation: methods and tools.

Испания:

A. Urquía, C. Martín-Villalba. Modeling and Simulation in Engineering using Modelica.

Россия:

Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Математическое моделирование для инженеров.

Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Современные компьютерные технологии моделирования.

Первые две книги будут переведены и изданы на русском языке. Обе интересны прежде всего своей ориентацией на инженеров, сопровождаются большим количеством примеров.

Учебники «Математическое моделирование для инженеров» и «Современные компьютерные технологии моделирования» – это попытка создать современные учебники, посвященные не конкретным средам, а моделям и компьютерным технологиям моделирования.

Приведем фрагмент введения к книге «Математическое моделирование для инженеров»: «Одним из востребованных практикой типов моделей являются сложные динамические системы. Модели на основе обыкновенных дифференциальных и разностных

уравнений давно используются при проектировании новых устройств, но если раньше моделированием занимались в основном математики, то теперь, с появлением компьютерных сред моделирования, проектированием на базе моделирования могут и должны заниматься инженеры.

За последние пятьдесят лет инженерное образование существенно изменилось и уже немислимо без таких базовых, фундаментальных, еще недавно традиционно математических дисциплин, как информатика, теория алгоритмов, вычислительная математика. Адаптация этих дисциплин для инженеров – дело не простое, и это хорошо видно на примере того же моделирования. Существуют прекрасные математические книги, посвященные различным разделам моделирования, но практически нет книг для инженеров. Аналогичная ситуация была в области вычислительных методов линейной алгебры, методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений и других разделов вычислительной математики в семидесятих годах прошлого столетия пока не появились пакеты прикладных программ, и вслед за ними сразу и книги для инженеров, написанные математиками. Достаточно вспомнить книги Дж. Форсайта, М. Малькольма, К. Моулера «Машинные методы математических вычислений», Дж. Райса «Матричные вычисления и математическое обеспечение» и другие, переведенные на русский язык издательством «Мир» в восьмидесятих годах прошлого столетия. Особенностью этих книг было то, что они учили не тому, как создавать, а тому, как правильно пользоваться программными реализациями численных методов, опираясь на известные теоретические результаты.

Цель этой книги рассказать инженерам об особом типе математических моделей – динамических системах, о методах исследования этих систем, их свойствах, возможности их исследования с помощью современных математических пакетов. Создавать и исследовать модели можно с помощью различных компьютерных сред, и делать это проще и результативнее, если владеешь основами теории».

Полезные ссылки и Интернет-ресурсы

1. **Бусленко Н.П.** Моделирование сложных систем. М.: «Наука», 1988.
2. Сайт проекта Inmotion – <http://www.inmotion-project.net/index.php/en/>
3. Сайт ассоциации Modelica – <https://www.modelica.org/>
4. Сайт среды Ptolemy – <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/ptolemyII/>
5. Список публикаций по моделированию НП «НОИМ» <http://simulation.su>.
6. Направления подготовки и специальности высшего профессионального образования: <http://www.edu.ru/abitur/act.106/index.php>.
7. Официальный сайт компании «Академия АйТи» - <http://www.academy.it.ru>.
8. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>.