

**ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
«МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ»****В.М. Гостев (Казань)**

Подготовка специалистов в области имитационного моделирования сложных систем – одно из направлений деятельности Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского федерального университета. Важнейшей особенностью классического университета является неразрывная связь науки с образованием: фундаментальные исследования составляют основу образовательного процесса. Широкое внедрение инфокоммуникационных технологий (ИКТ) открывает новые возможности для процесса интеграции образования и науки. В целях повышения эффективности этого процесса, а также повышения качества образования на базе ИКТ, в институте разработана концепция создания электронных научно-образовательных комплексов (ЭНОК) [7]. Система ЭНОК должна обеспечить комплексное научное сопровождение образовательного процесса, интеграцию инновационной научно-исследовательской и образовательной деятельности. В состав типового ЭНОК входят: тематический проблемно-ориентированный портал; электронная библиотека; средства организации и сопровождения форумов; средства поддержки коллективной проектной деятельности (в рамках учебных занятий, самостоятельной исследовательской работы студентов, совместной исследовательской деятельности преподавателей и студентов). Таким образом, система электронных научно-образовательных комплексов по различным направлениям обучения и исследований должна стать информационно-технологической базой единой образовательной информационной среды института.

В целях повышения качества образовательного процесса и научных исследований по направлениям «Фундаментальная информатика и информационные технологии», «Информационные системы и технологии», «Информационная безопасность» в институте создан электронный научно-образовательный комплекс «**Моделирование информационных процессов**» (ЭНОК МИП).

В состав ЭНОК МИП входят:

- портал «Моделирование информационных процессов»,
- система тестирования знаний,
- система оптимизации проектирования сетей передачи данных (СОПР СПД).

Портал представляет собой информационно-коммуникационную площадку для обеспечения эффективного взаимодействия студентов при выполнении ими учебно-исследовательских работ, инновационных разработок и т.д. В портале предусматривается реализация средств социальных сетей – например, личные сайты и технологии социального контента (такие как блоги, вики-ресурсы и т.д.) позволяют пользователям легко сохранять данные и обмениваться знаниями и опытом. Контент можно адаптировать для каждого пользователя, одновременно разрешив администраторам ограничивать доступ для соблюдения конфиденциальности. Наличие «мобильных» представлений контента позволяет пользователям работать с контентом портала на их мобильных устройствах.

Портал обеспечивает доступ к комплексу электронных учебно-методических материалов по курсу «Моделирование информационных процессов» (материалы лекций, методические пособия, ссылки на электронные ресурсы). Основная цель данного курса – изучение студентами фундаментальных основ теории моделирования (в первую очередь – имитационного) информационных систем и протекающих в них процессов, методики разработки компьютерных моделей, методов и средств имитационного моделирования и обработки результатов вычислительных экспериментов, приобретение навыков практиче-

ской работы с современными системами имитационного моделирования. В рамках курса рассматриваются общие принципы построения моделей информационных процессов и систем, основные понятия компьютерной имитации, рассматриваются подходы к моделированию процессов и явлений в природе и обществе, методы и средства моделирования систем массового обслуживания и функциональных процессов, обсуждаются вопросы планирования экспериментов с имитационными моделями систем, методы обработки и анализа результатов моделирования [1,2].

В программу курса включены следующие основные вопросы:

1. Введение.

Моделирование как метод научного познания, роль и место вычислительного эксперимента в исследовательской деятельности. Классификация моделей: понятия математической и компьютерной модели, имитационное моделирование. Моделирование непрерывных, дискретных и гибридных систем. Принципы системного подхода в моделировании. Стадии разработки моделей. Современные программные инструментальные средства моделирования систем. Перспективы развития теории моделирования и ее приложений.

2. Общие принципы построения моделей информационных процессов и систем.

Использование моделирования при исследовании и проектировании информационных систем. Основные подходы к математическому моделированию. Непрерывные и дискретные, детерминированные и стохастические модели. Сетевые модели и синхронизация событий. Общая последовательность разработки и реализации компьютерных моделей информационных систем. Алгоритмизация моделей. Понятие о статистическом имитационном моделировании. Применение основных предельных теорем теории вероятностей в статистическом моделировании. Псевдослучайные числа и процедуры их машинной реализации.

3. Моделирование систем массового обслуживания и функциональных процессов.

Дискретно-событийный подход к моделированию. Проблемно-ориентированный язык и программная среда GPSS World [3,4,5]. Предметная область GPSS – системы массового обслуживания (системы с очередями). Общие принципы моделирования информационных и вычислительных процессов в GPSS World. Базовые сведения о системе: объекты, переменные и выражения, функции. Модель системы: модельное время и статистика. Внутренняя организация: цепи (списки) и общая внутренняя последовательность событий. Элементы языка моделирования GPSS World. Среда моделирования GPSS World: операторы, команды управления, интерактивное взаимодействие.

4. Планирование экспериментов с моделями систем.

Задача планирования экспериментов с использованием компьютерных моделей. Основные понятия теории планирования экспериментов. Факторное пространство, классификация факторов и типы планов экспериментов. Построение матриц планирования. Стратегические планы проведения вычислительных экспериментов с компьютерными моделями. Tактические планы проведения имитационного моделирования: задание начальных условий и параметров и оценка их влияния на достижение установившегося результата. Вопросы обеспечения точности и достоверности результатов имитационного моделирования.

5. Обработка и анализ результатов моделирования.

Особенности статистической обработки результатов вычислительных экспериментов с использованием компьютерных моделей. Постановки задач обработки результатов имитационного моделирования. Статистические методы обработки результатов моделирования систем. Типовые критерии согласия при обработке результатов моделирования. Анализ и интерпретация результатов машинного моделирования: корреляционный и дисперсионный анализ.

6. Имитационное моделирование компьютерных сетей.

Моделирование источников данных. Моделирование компонентов компьютерных сетей: абонентских комплексов, коммуникационных подсетей (с маршрутизацией и селекцией информации). Моделирование сетей передачи данных территориальных компьютерных сетей.

Вопросы **комплексного моделирования** сложных технических систем рассматриваются в основном в контексте проблемы оптимизации проектирования сетей передачи данных (СПД). СПД представляет собой аппаратно-программное ядро любой территориальной компьютерной сети. Основу СПД образуют узлы коммутации (УК), соединяемые между собой магистральными каналами передачи данных (КПД). УК осуществляют управление процессами передачи потоков данных между абонентами СПД (локальными сетями, отдельными компьютерами) и реализуются обычно на базе высокопроизводительных многопротокольных маршрутизаторов. Магистральные КПД создаются на базе каналов цифровых систем связи. Общая проблема оптимального проектирования СПД формулируется следующим образом. Заданы: места возможного размещения УК; ожидаемая интенсивность трафика между УК; доступная номенклатура аппаратных средств (маршрутизаторы, каналообразующая аппаратура и т.д.) и их характеристики; доступные каналы связи между возможными пунктами размещения УК и их характеристики. Необходимо определить: количество УК СПД и места их размещения; тип маршрутизатора, размещаемого в каждом УК; топологию СПД (т.е. какие узлы коммутации будут непосредственно соединены каналами передачи данных из числа доступных); тип и параметры каждого КПД и аппаратуры, устанавливаемой на нем, определяющие его стоимостные характеристики и пропускную способность; маршруты передачи данных между узлами СПД. В качестве основных критериев оценки проекта СПД используются: 1) стоимостные характеристики, включающие капитальные затраты на оборудование УК и КПД, а также подключение или прокладку линий связи, и эксплуатационные расходы (стоимость аренды каналов связи); в качестве интегральной характеристики может быть взята приведенная стоимость; 2) ожидаемые временные характеристики передачи данных по сети – среднее и максимальное время задержки сообщений и пакетов в СПД, определяющее время реакции (обслуживания запросов абонентов). Таким образом, проблема проектирования СПД является сложной многокритериальной проблемой, для которой характерны комплексный характер, противоречивость и плохая формализуемость совокупности требований, предъявляемых к СПД. Для решения такой проблемы необходимы методы и средства проектирования, которые позволяли бы проводить оптимизацию проекта при учете (максимально возможном в реальных ситуациях) всех важнейших критериев оценки качества проектируемой сети, всех основных особенностей современных компьютерных сетей и требований, предъявляемых к ним (в том числе – многочисленных плохо формализуемых требований), которые давали бы возможность учитывать и использовать все особенности и условия реализации конкретного проекта. Все это приводит к необходимости использования в процессе выработки проектных решений человеко-машинных технологий оптимизации проектирования.

Для реализации соответствующих технологий и организации учебно-исследовательской работы в области имитационного моделирования в состав ЭНОК МИП включена **система оптимизации проектирования сетей передачи данных (СОПР СПД)**. Система позволяет решать задачи структурно-топологического и параметрического проектирования СПД, проводить расчеты и оценки параметров проектируемых сетей на основе использования их моделей, сравнение различных проектных решений и оценку их эффективности, оптимизацию проектных решений по критериям стоимости, надежности, производительности и величин временных задержек. Система обеспечивает проведение

многоэтапного человеко-машинного проектирования с возможностью повторного выполнения отдельных этапов и задач с целью корректировки, уточнения и оптимизации ранее принятых проектных решений, а также реализацию различных по степени сложности методов проектирования.

Сложность проблемы проектирования СПД определяет и разнообразие используемых в СОПР подходов. В процессе формирования и анализа вариантов сетей применяются как аналитические, так и имитационные модели. На базе аналитических моделей построены следующие функциональные подсистемы СОПР: подсистема структурно-топологического проектирования, подсистема выбора маршрутов, подсистема выбора пропускных способностей УК и КПД. Для обоснования и верификации разрабатываемых аналитических моделей элементов СПД, а также для оценки эффективности проектов СПД, разрабатываемых на основе аналитических моделей, в состав СОПР СПД включена дополнительная функциональная подсистема – подсистема оценки качества и эффективности функционирования (ОКЭФ) СПД, позволяющая работать с имитационными моделями СПД. Имитационные модели СПД строятся автоматически с помощью специального генератора, входящего в состав подсистемы ОКЭФ [8]. Подсистема ОКЭФ позволяет оценить временные характеристики проектируемых СПД (в частности, средние и максимальные задержки пакетов), выявить «узкие места» того или иного варианта сети. Выходными характеристиками, получаемыми в результате имитационного эксперимента, являются среднее время задержки пакетов, стандартное отклонение от среднего времени задержки пакетов, функции распределения времени задержки пакетов, количество пакетов, обработанных каждым УК, количество пакетов, переданных по каждому КПД, средние длины очередей и средние значения времени ожидания в буферах перед процессорами в каждом УК, характеристики загрузки КПД и процессоров УК сети.

По результатам имитационного эксперимента проектировщик может скорректировать вариант проекта СПД (изменить топологию, маршруты, пропускные способности УК и КПД, размеры пакетов), используя средства соответствующих подсистем, а затем повторить этап имитационного моделирования, используя средства подсистемы ОКЭФ. Реализация комбинированного подхода к моделированию на базе СОПР позволяет в рамках единого процесса проектирования СПД использовать преимущества аналитических (на этапах формирования и корректировки проекта) и имитационных (на этапе оценки качества и эффективности полученного проекта) моделей. Использование генератора имитационных моделей повышает эффективность процесса проектирования СПД, избавляя проектировщика от необходимости «ручного» программирования. В то же время, открытая архитектура СОПР СПД позволяет проектировщику при необходимости выполнять корректировку текстов программ на GPSS в целях более точной настройки моделей.

В основу организации учебных занятий на базе СОПР СПД положено создание проблемных ситуаций, посредством которых обучаемые вовлекаются в процесс решения проблем. Здесь реализуется переход от принципа усвоения знаний путем многократного повторения и запоминания к принципу усвоения знаний в процессе самостоятельной интеллектуальной деятельности обучаемых. Работая с системой, студенты могут изучить состав и структуру СПД, освоить использование методов имитационного моделирования, методов оптимизации проектных решений, провести учебную разработку сети, а также изучить и применить на практике принципы системного подхода к проектированию сложных объектов. Выполнение этих работ дает существенный обучающий эффект, поскольку параллельно с изучением архитектуры и методов проектирования компьютерных сетей обучаемые углубляют свои знания и развивают навыки в области имитационного моделирования, системного и прикладного программирования.

Многопользовательская версия системы позволяет организовать совместное обучение студентов. С этой целью в системе формируется общее рабочее пространство, в котором группа студентов (3–5 человек) выполняет общий проект. Доступ к системе осуществляется через Интернет. В ходе самостоятельной работы студенты имеют возможность обмениваться между собой информацией и тем самым осваивать навыки коллективной работы над большими проектами с использованием современных ИКТ. При этом преподавателю доступны функции управления рабочим процессом (формирование заданий на проектирование, контроль хода выполнения работ, удаленное консультирование студентов).

Отметим, что, наряду с использованием в образовательном процессе, СОПР СПД была использована для решения ряда научных и практических задач, в частности, для оценки характеристик корпоративной компьютерной сети образовательных учреждений Республики Татарстан [9]. Разработанные модели были применены для оценки характеристик СПД единой образовательной информационной среды РТ. Были проведены вычислительные эксперименты по оценке предельных пропускных способностей и временных характеристик для вариантов СПД с различными топологическими структурами, маршрутами передачи данных, пропускными способностями УК и КПД, размерами передаваемых пакетов. Получены оценки межузловых средних задержек при передаче пакетов по СПД, в том числе их канальные и узловые составляющие, а также оценки интегральных временных характеристик СПД – средней и максимальной задержек пакетов. Исследовано влияние характера внешней нагрузки на значение предельной пропускной способности СПД. В настоящее время на базе СОПР СПД проводятся эксперименты по разработке и реализации новых методов и технологий, основанных на концепции распределенного имитационного моделирования, описанной в [6].

Важной составной частью ЭНОК МИП является **система тестирования знаний**. В процессе обучения студенты работают с ресурсами портала и проходят три ступени контроля знаний:

- тренировочное тестирование (тренинг; самоконтроль с указанием на разделы, по которым были даны неверные ответы);
- контрольное тестирование по разделу (модулю) курса, обеспечивающее переход к изучению следующего раздела только при получении положительной оценки;
- итоговое тестирование (аттестация: зачет или экзамен), по результатам которого автоматически формируется типовая зачетно-экзаменационная ведомость.

Таким образом, ЭНОК МИП обеспечивает разностороннюю поддержку научно-образовательной деятельности – от учебных занятий (лекции, семинары и т.д.) с применением современных педагогических технологий до самостоятельной учебно-исследовательской работы студентов. Кроме того, комплекс служит технологической базой для дальнейшего развития и апробации элементов концепции ЭНОК: методик проектирования и создания аппаратного, программного, информационного, организационного обеспечения ЭНОК, экспериментальной оценки трудоемкости реализации разработанной архитектуры ЭНОК, оценки эффективности новых образовательных технологий.

Опыт применения ЭНОК МИП в образовательном процессе показывает, что учебно-исследовательская работа студентов способствует формированию интереса к познавательной, творческой и практической деятельности, повышает учебную мотивацию. Исследовательская работа студентов создает условия для формирования логического, научного мышления, развития интереса к выбранной специальности, позволяет развить творческие качества будущих специалистов в области компьютерного моделирования через повышение качества учебного процесса.

Литература

1. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем. – М.: Юрайт, 2013. – 343 с.
2. **Алиев Т.И.** Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
3. **Боев В.Д.** Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
4. **Кудрявцев Е.М.** GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.
5. **Томашевский В.Н., Жданова Е.Т.** Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
6. **Власов С.А., Девятков В.В., Кобелев Н.Б.** Имитационные исследования: от классических технологий до облачных вычислений // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2011): труды 5-й всеросс. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 19–21 октября 2011 г.). – Том I. – С.42 – 50.
7. **Гостев В.М.** Электронный научно-образовательный комплекс как средство повышения качества образования // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий (ИНФО-2010): материалы 7-й международн. науч.-практич. конф. (Сочи, 1–10 октября 2010 г.). – М.: МИЭМ, 2010. – С.512–515.
8. **Гостев В.М.** Применение имитационных моделей в процессе проектирования сетей передачи данных // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2005): сб. докл. 2-й Всеросс. науч.-практич. конф. (Санкт-Петербург, 19–21 октября 2005 г.). – Том II. – С.75–78.
9. **Гостев В.М.** Комплексное моделирование сетей передачи данных на базе системы оптимизации проектирования СПД // Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 3(41). – С. 77–81.