

Об общеразвивающей программе «Основы математического инженерного моделирования»

Тверской государственный университет
И.С. Солдатенко, С.В. Сорокин, И.В. Захарова, О.Н. Медведева
Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского
О.А. Кузенков

Предложена инновационная общеразвивающая программа для дополнительного обучения школьников, разработка которой осуществлена авторами в рамках государственного задания Минобрнауки РФ по созданию практико-ориентированных научно-технических клубов инженерного творчества. Отличительными особенностями программы являются проектный метод обучения и акцент на математическом моделировании в инженерно-техническом проектировании. Цель программы – популяризация инженерных профессий и инженерного образования в стране, развитие у старшеклассников основ инженерного мышления нового типа, необходимого для решения задач нового поколения, связанных с интеллектуальным управлением, искусственным интеллектом и другими вопросами «инженерии будущего».

Ключевые слова: инженерное моделирование, конструирование, инженерия будущего, математическое моделирование, общеразвивающая общеобразовательная программа.

Key words: engineering modeling, construction, future engineering, mathematical modeling, general enrichment educational programme.

Введение

В настоящее время в России все более востребованными становятся специалисты инженерных направлений подготовки, обладающие новым стилем научно-технического мышления. При этом в связи с проникновением техники и технологий во все сферы человеческой жизни, задачи, решаемые современным инженером, постоянно эволюционируют и усложняются. От современного специалиста требуется не просто освоить определенный объем материала, а прежде всего, уметь им пользоваться при решении нетиповых задач, которые не разбирались в явном виде во время обучения и лежат на стыке различных областей знания.

В частности, бурное развитие в XX веке исследований в области искусственного интеллекта породило целый класс новых задач, требующих от инженера не только базового технического образова-

ния, но и глубокой математической подготовки, необходимой для понимания принципиально новых концепций, как например: интеллектуальное управление (например, в задачах проектирования так называемого «умного дома»), всевозможные вопросы из области искусственного интеллекта, программная инженерия, робототехника, нечеткие интеллектуальные системы, мягкие вычисления, биоинформатика и так далее.

Формирование такого инженера нового типа необходимо начинать уже со школьного возраста. Первое, с чем требуется ознакомить будущего специалиста – основы инженерного моделирования, так как моделирование и конструирование являются базовыми навыками любого инженера, способствуют практическому познанию окружающего мира, развивают техническое мышление, мотивируют к творческому саморазвитию и в дальнейшем являются залогом профессиональ-

ного роста. При этом одной из главных компонент инженерного моделирования становится математическое и тесно с ним связанное компьютерное моделирование для решения инженерных задач.

Несмотря на растущие потребности рынка труда в инженерах нового поколения, среди предпочтений абитуриентов до сих пор наблюдается перекося в сторону юридических, экономических и управленческих специальностей, поэтому одна из основных задач, стоящих перед государством сегодня – популяризация физико-математического, технического и естественно-научного образования. Эту задачу также необходимо решать еще на школьном уровне в тот момент, когда у ученика формируются предпочтения относительно будущей профессии.

Все это обуславливает актуальность разработки дополнительных общеобразовательных общеразвивающих программ [1-4], направленных на вовлечение школьников в инженерное творчество, развитие конструкторского мышления и, как следствие, на мотивацию выбора будущей профессии, связанной с инженерией.

В настоящей статье описывается результат такой работы в виде общеразвивающей программы «Основы математического инженерного моделирования» для дополнительной общеобразовательной подготовки. Целью программы является популяризация инженерных профессий и инженерного образования в стране, снижение оттока выпускников, обучающихся по инженерным специальностям в другие сферы деятельности, а также развитие у старшеклассников основ инженерного мышления нового типа, необходимого современному инженеру для решения задач нового поколения, связанных с интеллектуальным управлением, искусственным интеллектом и другими вопросами «инженерии будущего».

Новизна программы заключается в том, что в ее основу положено знакомство с вопросами математического моделирования: начиная с простейших

вопросов построения моделей физических процессов на основе систем обыкновенных дифференциальных уравнений и заканчивая вопросами моделирования сложных процессов и явлений со стохастической и нечеткой природой с привлечением соответствующих математических аппаратов теорий возможностей и вероятностей, элементов интеллектуального управления на основе эволюционных алгоритмов, нейронных сетей и нечетких контроллеров.

Материал программы адаптирован для старшеклассников, уже познакомившихся с основами интегрального и дифференциального исчисления и имеющих базовые навыки алгоритмизации и написания программ на одном из языков структурированного программирования.

Отличительной особенностью является то, что обучение проходит на базе одного из наиболее популярных сегодня языков программирования Python бесплатно, простого в установке, изучения и не уступающего по выразительной мощности современным языкам, вроде C/C++, Java, C# и другим. Простой синтаксис и уже встроенные в язык все основные структуры данных позволяют уделить больше внимания вопросам практического изучения теоретических концепций курса, не тратя слишком много времени на сам инструментарий.

Еще одной особенностью является применение проектного подхода к обучению, что позволяет сформировать навыки коллективного проектного метода работы: школьники делятся на группы по два-три человека, каждая группа берет один из предложенных проектов, в конце курса результаты выносятся на защиту. При этом все проектные задания разделены по уровню сложности, что позволяет учитывать возрастные и индивидуальные особенности детей.

Структура курса

Весь курс логически разбит на четыре части, каждая из которых посвящена своему уровню моделирования, сложность которых возрастает. Первая часть –



И.С. Солдатенко



О.А. Кузенков



С.В. Сорокин



И.В. Захарова



О.Н. Медведева

самый первый шаг при знакомстве с моделированием, симуляция физических процессов. Это самые простые и наглядные примеры, позволяющие понять, что такое моделирование и зачем оно нужно. Вторая часть – классическое моделирование физических процессов на базе простейших дифференциальных уравнений с выходом на решение практически полезных задач. Математический аппарат, используемый в этой части, адаптирован для школьного уровня – все модели построены на базе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, для решения которых используется метод Эйлера-Коши. Третья часть – моделирование более сложных процессов, которые не поддаются аналитическому описанию и действуют по принципу «черного ящика», поведение которого можно оценивать лишь по некоторым внешним проявлениям их функционирования, и где необходимо использовать имитационное моделирование. Ну и, наконец, четвертая часть посвящена интеллектуальному моделированию сложных процессов и явлений, где используются элементы искусственного интеллекта, а именно эволюционные алгоритмы, нечеткие системы и мягкие вычисления.

Структурно курс делится на две части. Первая посвящена знакомству с инженерным и математическим моделированием, проектированием, самим проектным подходом. Эта часть занимает 36 часов и в ее рамках школьники знакомятся с проектным подходом, выполняя несложные проекты по графической симуляции физических процессов. Помимо работы над проектом школьники также знакомятся с процессом защиты результатов своей работы, которая проводится по окончании первой половины курса.

Вторая часть посвящена непосредственно задачам инженерного моделирования (проектирования) – созданию нетривиальных систем на основе современных интеллектуальных методов, позволяющих решить небольшую инженерную задачу. Во время второй половины

также применяется проектный подход, уже сформированные группы школьников выбирают один из предложенных проектов и работают над ним до окончания курса. Результаты работы выносятся на итоговую защиту.

В середине курса проводится промежуточная защита учебных проектов, а в конце года проводится проверка знаний в форме защиты выполненных итоговых проектов. И первая, и вторая защиты проходят с представлением результатов в виде презентации.

Содержание курса

Далее представлены компоненты учебного плана и тематическое наполнение программы. Курс рассчитан на 72 часа, из которых 32 уделены теории и 40 часов – практике. Программа построена таким образом, что практическая часть предполагает возможность как аудиторной, так и дистанционной форм (самостоятельная работа над проектами, изучение материала, консультации с преподавателем по электронной почте или с помощью других средств электронного общения).

Тема 1. Введение в инженерное моделирование (проектирование) (2 ч.)

Теория (2 ч.): Что такое инженерия. Кто такой инженер. Виды инженерной деятельности: 3D моделирование, конструирование, робототехника, математическое моделирование, программирование. Прошлое, настоящее и будущее инженерии, интеллектуальное управление, искусственный интеллект. Знакомство с проектным подходом к обучению. Структура проекта, этапы выполнения, защита проекта. Элементы программной инженерии в проектном обучении (жизненный цикл проекта). Входное тестирование для определения уровня школьников.

Тема 2. Введение в язык программирования Python (10 ч.)

Теория (6 ч.): О компьютерах и языках программирования. Интерпретация и компиляция. Язык программирования Python. Среда разработки. Синтаксис языка. Объектно-ориентированное и событийное программирование.

Практика (4 ч.): Установка. Знакомство с языком и средой разработки. Изучение синтаксиса языка и основных структур данных Python. Выполнение упражнений. Разработка пользовательских интерфейсов в SimpleGUI. Рисование простейших геометрических фигур на канве.

Тема 3. Основы математического моделирования (2 ч.)

Теория (2 ч.): Математическая модель, основные этапы. Прямые и обратные задачи математического моделирования. Универсальность, принцип аналогий. Иерархия моделей. Примеры моделирования.

Тема 4. Визуализация простейших физических симуляций (4 ч.)

Теория (2 ч.): Анимация средствами SimpleGUI. Построение модели абсолютно упругого столкновения шарика о поверхность и двух шариков в безвоздушной среде.

Практика (2 ч.): Разработка программы для визуализации модели.

Тема 5. Описание и распределение учебных проектов по графической симуляции физических процессов, работа над ними (12 ч.)

Теория (2 ч.): Описание заданий для выполнения учебных проектов по следующим моделям: (1) модель броуновского движения: возможность динамического регулирования диаметра частицы, начальной температуры, реализация возможности остывания среды (потеря импульса при ударе о стенки сосуда), прорисовка на отдельном экране траектории движения частицы; (2) диффузия двух газов: динамическое управление плотностью газов, шириной зазора между сосудами, температурой газа (скоростью частиц), подсчет на отдельном экране коэффициентов диффузии для обоих сосудов; (3) модель маятника: колебание без затухания и с затуханием; (4) моделирование игры «Жизнь» с графической визуализацией, построение и исследование различных стратегий. Цель проекта – знакомство с проектным подходом, изучение,

построение соответствующей модели, программная симуляция и визуализация, подготовка и оформление результатов к защите.

Практика (10 ч.): Группа школьников разбивается на подгруппы, каждая из которых берет один из проектов. До середины курса подгруппы на практических занятиях занимаются разработкой своих тематик, по окончании проводится защита учебных проектов. На теоретических занятиях продолжается изучение более сложного моделирования на основе дифференциальных уравнений. Группы, завершающие работу досрочно, имеют возможность усложнить свои проекты путем добавления динамики, описываемой дифференциальными уравнениями.

Тема 6. Элементы вычислительной математики (1 ч.)

Теория (1 ч.): Простейшие обыкновенные дифференциальные уравнения. Системы ОДУ. Численное дифференцирование. Метод Эйлера-Коши решения ОДУ (систем ОДУ).

Тема 7. Задача свободного падения тела (1 ч.)

Теория (1 ч.): Второй закон Ньютона. Модель свободного падения шарика в безвоздушной среде, в вязкой среде.

Тема 8. Задача движения тела, брошенного под углом к горизонту (2 ч.)

Теория (2 ч.): Модель движения шарика, брошенного под углом к горизонту, без учета и с учетом сопротивления среды.

Тема 9. Защита учебных проектов (2 ч.)

Теория (2 ч.): Защита учебных проектов с представлением теоретических результатов в виде презентации и практических результатов в виде работающей симуляции. Подведение итогов проектной работы.

Тема 10. Описание и распределение итоговых проектов, работа над проектами (18 ч.)

Теория (2 ч.): Описание заданий для выполнения итоговых проектов по следующим моделям: (1) построение системы

машинного зрения для распознавания печатных символов на основе нейронных сетей; (2) оптимизация генетическим алгоритмом многокритериальной сложной функции, описывающей физический процесс; (3) имитационное моделирование системы массового обслуживания «Регулируемый перекресток» (расчет оптимального времени переключения светофора/светофоров на перекрестке в зависимости от трафика и интенсивности движения пешеходов); (4) тема повышенной сложности: построение контроллера управления перевернутым маятником; (5) тема повышенной сложности: построение нечеткого контроллера на основе нейронной сети управления процессом остановки транспортного средства перед препятствием. Цель проекта – изучение материала и создание (программирование на языке Python) нетривиальных систем на основе современных интеллектуальных моделей и методов, позволяющих решить логически завершённую небольшую инженерную задачу.

Практика (16 ч.): Уже сформированные подгруппы школьников выбирают проект и работают над ним на практических занятиях до конца курса. На теоретических занятиях продолжается обзорное изучение различных методов моделирования сложных процессов с выполнением простейших демонстрационных упражнений.

Тема 11. Имитационное моделирование на примере систем массового обслуживания (4 ч.)

Теория (2 ч.): Основные понятия теории массового обслуживания. Поток заявок, построение распределения вероятностей по таблице частот, построение генератора случайных событий по таблице частот. Примеры СМО. Имитационное моделирование. Принципы работы систем имитационного моделирования, многопоточность, объектная модель системы, существующие программные пакеты и библиотеки.

Практика (2 ч.): Написание компьютерной программы для имитационного

моделирования СМО на примере простейшей задачи (пример задачи: «Автобусная остановка» – необходимо рассчитать площадь козырька (в человеко-местах) автобусной остановки, чтобы при заданной интенсивности появления пассажиров и расписании движения автобуса все пассажиры могли укрыться от дождя, независимо от его продолжительности).

Тема 12. Генетические алгоритмы (4 ч.)

Теория (2 ч.): Эволюционные алгоритмы. Устройство, история возникновения, области применения. Структура генетического алгоритма. Достоинства и недостатки. Обзор других алгоритмов интеллектуальной оптимизации.

Практика (2 ч.): Написание компьютерной программы для нахождения оптимального решения простейшей задачи условной оптимизации генетическим алгоритмом. Визуализация процесса решения.

Тема 13. Нейронные сети (4 ч.)

Теория (2 ч.): Устройство искусственных нейронных сетей, история возникновения и развития. Области применения. Класс решаемых задач. Сети с учителем. Однослойный перцептрон для решения задачи классификации. Обучение сети. Существующие программные пакеты и библиотеки для моделирования искусственных нейронных сетей. Обзор основных архитектур искусственных нейронных сетей.

Практика (2 ч.): Написание компьютерной программы для классификации векторов с помощью простейшего однослойного перцептрона.

Тема 14. Системы нечеткого логического вывода (4 ч.)

Теория (2 ч.): Элементы теории нечетких множеств: нечеткое множество, функция принадлежности, треугольные нечеткие числа, α -уровневое множество. Системы нечеткого логического вывода. Области применения.

Практика (2 ч.): Написание компьютерной программы для моделирования

простейшей системы нечеткого логического вывода.

Тема 15. Защита итоговых проектов, подведение итогов (2 ч.)

Теория (2 ч.): Защита итоговых проектов с представлением теоретических результатов в виде презентации и практических результатов в виде работающей программы. Подведение итогов курса.

Заключение

В статье предложена инновационная общеразвивающая программа для дополнительного обучения школьников, отличительными особенностями которой являются проектный метод обучения и акцент на математическом моделировании в инженерно-техническом проектиро-

вании. Работа была выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ по созданию и развитию практико-ориентированных научно-технических клубов инженерного творчества. В работе над программой принимали участие представители Тверского государственного университета, Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского, Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева и Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, она была представлена на серии семинаров в Москве и Санкт-Петербурге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об образовании в Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 29 дек. 2012 г. № 273-ФЗ // Гарант.Ру: информ.-правовой портал. – М.: Гарант-сервис, 2017. – URL: <http://base.garant.ru/70291362>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 15.03.2017).
2. Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным общеобразовательным программам [Электронный ресурс]: приказ Мин-ва образования и науки Рос. Федерации от 29 авг. 2013 г. № 1008 // Там же. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70849796>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 15.03.2017).
3. Об утверждении Концепции развития дополнительного образования детей [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 4 сент. 2014 г. № 1726-р. – Доступ из информ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Методические рекомендации по проектированию дополнительных общеразвивающих программ (включая разноуровневые программы) [Электронный ресурс]: прил. к письму Департамента гос. политики в сфере воспитания детей и молодежи Мин-ва образования и науки РФ от 18 нояб. 2015 г. № 09-3242. – Доступ из информ.-правовой системы «КонсультантПлюс».