

курсов, когда одной из основных проблем становится необходимость наличия дорогостоящего лабораторного оборудования. Рассмотрены системы, позволяющие моделировать электронные схемы и робототехнические системы. Проведенный анализ основан на использовании виртуальных лабораторий в разработанном

авторами курсе «Основы практического инженерного моделирования» для школьников. Показано, что использование виртуальных лабораторий позволяет школьникам познакомиться со всеми аспектами разработки робототехнических систем без использования специального оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швецов, В.И. Модернизация преподавания математики как важнейшей составляющей междисциплинарности в инженерном образовании / В.И. Швецов, С. Сосновский // Инженерное образование. – 2016. – № 20. – С. 207-212.
2. Autodesk CIRCUITS [Electronic resource] // Circuits.io: [site]. – San Rafael, 2017. – URL: <https://circuits.io>, free. – Tit. screen (usage date: 13.02.2017).
3. Я презираю Arduino [Электронный ресурс] // Geektimes: [сайт]. – 2014–2017. – URL: <https://geektimes.ru/post/255760>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 13.02.2017).
4. Robot Operating System: ROS [Electronic resource]: [site]. – [Kirkland, 1998–2017]. – URL: <http://www.ros.org>, free. – Tit. screen (usage date: 13.02.2017).
5. GAZEBO [Electronic resource]: [site]. – [Mountain View, CA, 2011–2017]. – URL: <http://gazebo.org>, free. – Tit. screen (usage date: 13.02.2017).
6. Webots [Electronic resource]: [site]. – [Lausanne]: Cyberbotics Ltd, cop. 2017. – URL: <http://www.cyberbotics.com/webots.php>, free. – Tit. screen (usage date: 15.02.2017).
7. Cyberbotics' Robot Curriculum [Electronic resource] // Wikibooks: site. – San Francisco, 2003–2016. – URL: https://en.wikibooks.org/wiki/Cyberbotics%27_Robot_Curriculum, free. – Tit. screen (usage date: 15.02.2017).
8. V-REP: Virtual Robot Experimentation Platform [Electronic resource] // Coppelia Robotics: [site]. – Olst, 2012–2017. – URL: <http://www.coppeliarobotics.com>, free. – Tit. screen (usage date: 15.02.2017).

УДК 378.147.88

Лабораторные работы в структуре продуктивного обучения математике студентов технических вузов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)

В.А. Акимушкин, С.Н. Поздняков, А.С. Чухнов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

С.В. Рыбин

Предлагаемый в статье подход к созданию и использованию лабораторных работ в организации обучения дискретной математике и математической логике, и теории алгоритмов основан на роли компьютерных инструментов в поддержке продуктивного мышления. Рассматриваемые работы основаны на моделировании предметной среды, включают в себя целевую установку, определяющую экспериментально-конструктивную деятельность студента и средства для автоматической оценки частичных решений, предлагаемых обучаемыми. Результаты эксперимента показали существенное повышение эффективности по сравнению с тестами на выбор.

Ключевые слова: лабораторные работы, дискретная математика, математическая логика и теория алгоритмов, информационная среда, имитационные модели.

Key words: laboratory works, discrete mathematics, mathematical logic.

Введение

Большое число современных авторов понимают под лабораторной работой по дискретной математике систему задач по определенной теме, обеспечивающую полный охват отдельных элементов знаний по ней. Нам кажется, что при таком подходе, выполнение такой лабораторной работы ничем не отличается от решения индивидуального домашнего задания или набора тестовых задач [1-3].

Классическое инженерное образование трактует лабораторную работу по математике как учебное занятие, являющееся основной единицей лабораторного (вычислительного) практикума, на котором реализуются численные методы решения профессионально значимой за-

дачи [4]. При этом относительно редко решаются типовые задачи, соответствующие будущей специализации, чаще – «профессиональные» задачи технического содержания (называемые часто задачами прикладной направленности).

Лабораторный практикум должен состоять из примеров решения задач, выполняемых по образцу творческих индивидуальных заданий. Тогда система лабораторных заданий активизирует самостоятельную работу студентов и способствует более глубокому освоению курса и отработке приемов решения задач. При проведении занятий студенты будут более активно участвовать в решении и разборе задач, которые им придется выполнять индивидуально. Самостоятельное решение студентами задач помогает им лучше



В.А. Акимушкин



С.Н. Поздняков



С.В. Рыбин



А.С. Чухнов

усвоить теорию и получить практические навыки работы с объектами, являющимися предметом изучения дисциплины «Дискретная математика».

Процесс обучения станет более эффективным, если его участники будут решать нетривиальные содержательные задачи и для этого им необходимо осваивать новые методы и средства работы, включая изучение соответствующего теоретического материала. Кроме того, представление обучения как вида исследовательской работы создает дополнительную мотивацию у студентов.

Таким образом, лабораторная работа по дискретной математике становится основой формирования исследовательской компетентности будущего инженера.

Заметим, что термины «лабораторная работа» и «лабораторный практикум» часто встречаются в литературе в качестве синонимов. По-видимому, следует разделять эти понятия. Главное отличие лабораторного практикума от отдельной лабораторной работы заключается в системном характере первого. Практикум состоит из нескольких лабораторных работ, различающихся по тематике и, возможно, достаточно дистанцированных по времени проведения, но объединенных общей целью, соответствующей направлению профессиональной подготовки специалиста.

Для реализации лабораторных работ исследовательского типа ряд авторов предлагает активно использовать пакеты прикладных программ (Maple, Mathematica, MatLAB и др.). Облегчая решение сложных задач, они снимают психологический барьер в изучении математики и делают этот процесс интересным и более простым. В этом случае студенты оказываются готовыми решать более сложные задачи, компенсируя недостаток собственных знаний использованием интеллектуальных возможностей пакета, учатся представлять результаты исследований в виде аккуратных содержательных отчетов.

В качестве примера можно привести лабораторный практикум, разработанный в Ярославском государственном университете имени П.Г. Демидова [5]. Практикум разработан на основе пакета Mathematica и охватывает такие разделы курса дискретной математики как «Комбинаторика», «Алгоритмы на графах», «Булевы функции», «Алфавитное кодирование» и «k-значные функции».

Здесь следует заметить, что существует опасность превращения компьютерной лабораторной работы в расчет некоторого задания по шаблону, игнорируя исследовательскую составляющую. И компьютеризация вычислительных методов не только не сняла эту проблему, но скорее даже усугубила, смещая акцент с анализа результата на возможности той или иной программной среды [6].

Отметим тенденцию использования виртуальной обучающей среды Moodle для внедрения лабораторных практикумов в учебный процесс.

В [7] проведен обзор разработанного в МФТИ лабораторного практикума по курсу «Нечеткие модели дискретной математики» и метод его внедрения в учебный процесс. Компьютеризация практикума обеспечивает наглядное представление материала, генерацию вариантов заданий, проверку выполненных работ, выявление и показ допущенных ошибок. Практикум создан на платформе AdobeFlash. Для внедрения практикума в учебный процесс используется виртуальная обучающая среда Moodle и интеграция разработанного интерактивного содержимого с помощью стандарта SCORM.

Для создания исследовательских задач по теории графов в настоящее время активно применяется пакет Maple, предоставляющий хорошую визуализацию, что немаловажно для данной темы. Хорошим примером может служить учебно-методический комплекс «Дискретная математика» национального исследовательского университета МЭИ по учебнику [8]. Ресурс охватывает большинство тем теории графов, предусмотренных учеб-

ной программой: нахождение минимального остова, кратчайшие пути в графе, насыщение сетей, покрытия, раскраски, венгерский алгоритм, гамильтоновы и эйлеровы циклы, кодирование деревьев и т.п.

Приведем еще несколько примеров удачных разработок обучающих материалов, включающих в себя лабораторные работы с элементами исследования.

В [9] предложен ряд лабораторных работ по курсу «Дискретная математика», предназначенных для освоения систем компьютерной математики и соответствующих программных продуктов. В частности, предлагается изучение разделов комбинаторики, используя пакет Mathematica, моделирование автоматов в среде Electronics Workbench и решение задач по нечеткой логике в пакете Fuzzy Logic среды MathLab.

Сотрудники Сибирского федерального университета разработали цикл лабораторных занятий [10], включающий в себя ряд обучающих программ по теории графов. Данный комплекс интересен еще и тем, что в него встроена универсальная система компьютерного тестирования Unitest, разработанная сотрудниками университета и предназначенная для проведения промежуточного и выходного контроля знаний.

В Новгородском государственном университете имени Ярослава Мудрого [11] предложен цикл задач нечислового характера с применением концепции логического программирования. Представляют интерес задачи моделирования интеллектуальных действий человека при обработке различных видов информации. Лабораторный комплекс позволяет также приобрести навыки написания и отладки программ на языке Пролог при построении интеллектуальных систем различного назначения.

В заключение обзора компьютерных лабораторных комплексов отметим одну из последних разработок Вятского государственного университета [12]. Предлагается комплекс эмуляторов для изучения

сложных разделов дискретной математики. Эмуляторы демонстрируют методы решения, таких задач как операции над множествами, вычисление мощностей объединенных множеств, решения задач на сетях и графах и др.

Помимо «компьютеризированных» лабораторных работ отметим, что в качестве творческих лабораторных заданий можно использовать и предлагаемые различными авторами темы курсовых работ по курсу «Дискретная математика» [13]. Такие курсовые работы, не очень большого объема, могут служить темами нескольких лабораторных работ по соответствующей теме.

В работах [14-19] представлен подход к изучению математики, основанный на взаимодействии с предметными моделями этих понятий и оценкой частичных решений этих понятий. Такой подход дает большие возможности для компьютерной поддержки познавательной активности обучающихся. Представляет интерес использование объединения двух разных интерпретаций изучаемых понятий, когда при составлении задачи используется одно описание, например, описание задачи набором условий на ее решение, а в процессе решения – другое, например, алгоритмическое описание решения [20, 21].

Психологические и методологические основы использования компьютерных инструментов в обучении

Предлагаемый в статье подход к использованию лабораторных работ в организации обучения дискретной математике и математической логике, и теории алгоритмов основан на роли компьютерных инструментов в поддержке продуктивного мышления [22, 23].

В основе подхода лежат работы Вергеймера, в которых впервые введено понятие продуктивного мышления [24], работы Выготского о роли орудия в развитии интеллекта человека [25], работы Леонтьева по механизму интериоризации [26] и Якиманской – по использованию этого механизма в формировании

важных математических представлений [27], работ Крылова по методическим аспектам обучения инженеров [28], работ Кудрявцева по структуре технического мышления [29], работ Паперта по роли инструмента в формировании математических понятий [30], работ Пойа по реализации исследовательского подхода в обучении математике [31, 32], работ по теории информационной среды [22] и информационного пространства [33].

В работе Вертгеймера [24] показано, что формирование математических понятий возможно только при опоре на базовые представления, которым обучаемый доверяет. С этим связан эффект понимания, который является субъективным ощущением обучаемого.

Использование аналогов и моделей связано с прикладной направленностью преподавания, что хорошо выражено академиком А.Н. Крыловым [28]: «...практик, техник, каковым и должен быть всякий инженер ... должен развивать не только свой ум, но и свои чувства так, чтобы они его не обманывали, он должен не только уметь смотреть, но и видеть... свои же умозаключения он должен сводить не к робкому Декартову «мыслю – значит, существую», а к твердому практическому «я это вижу, слышу, осязаю, чую – значит, это так и есть».

В работах Кудрявцева [29] введено понятие технического мышления. Основная особенность технического знания в том, что это понятийно-образно-действенное знание. Иными словами, оперируя с конкретным объектом, необходимо иметь в умственном плане его структурный образ и совершать с ним конкретные действия, определяемые этой структурой.

Моделирование математических понятий и использование компьютерных моделей в обучении математической логике и теории алгоритмов

Как уже говорилось выше, одним из способов формирования понятия у обучаемого, который не смог найти его правильное представление в своей мыслительной структуре, является способ выведе-

сти понятие вовне, овеществить его, дать возможность оперирования с этим понятием как с внешним объектом.

Проблемой является то, что исходно структура интеллекта каждого отдельного обучаемого неизвестна и средств для того, чтобы можно было осуществлять индивидуальное обучение, пока нет. Поэтому важной задачей является выделение и использование общих методических приемов, которые иницируют у каждого из них деятельность по присвоению новой идеи. Это требует обращения к базовым представлениям и использования информационной среды для моделирования того, что в процессе интериоризации превратится во внутреннюю интеллектуальную структуру у каждого из обучаемых.

Для этого овеществленная имитационная модель должна быть достаточно простой, чтобы таким образом обеспечилась ее гибкость, позволяющая каждому обучаемому использовать свою внутреннюю интерпретацию – модель должна предоставить интеллектуальную свободу обучаемому [19]. Ни в коем случае в ней не может быть заложена жесткая методика обучения данному понятию, заставляющая обучаемого прямо или косвенно приспособляться к ней. Наоборот, работая с моделью обучаемый проецирует на нее свои интуитивные представления, которые могут вступить в противоречие с сущностными аспектами понятия, жестко фиксируемые моделью, и создать проблемную ситуацию, иницирующую формирование нового знания.

Отметим базовые свойства моделей, лежащих в основе модулей-лабораторий: первое – *гибкость в интерпретациях*, второе – *жесткость в фиксации сущностных свойств*. Заметим также, что объекты с такими свойствами имеют название «граничных объектов» в теории информационного пространства [33], посредством которых практикующие сообщества обмениваются информацией через информационное пространство.

Лабораторной работой мы будем называть совокупность следующих объектов:

- модель предметной среды, связанной с изучаемым понятием;
- целевую установку, определяющую экспериментально-конструктивную деятельность обучаемого;
- средства для автоматической оценки частичных решений, предлагаемых обучаемыми.

На первый взгляд кажется, что если у нас есть формальное определение понятия, то модель предметной среды строится автоматически. Однако это далеко не так, поскольку важное значение имеет пользовательский интерфейс, который должен ограничить действия обучаемого ровно настолько, чтобы обеспечить свободу для построения различных решений, но в строго ограниченной области.

Приведем пример одной из моделей. Задачи на конструирование конечного распознающего автомата предлагаются в среде, позволяющей строить граф конечного автомата. Одним из методических вопросов, который нужно было решить при проектировании интерфейса – использовать модель недетерминированного или детерминированного автомата. Выбор детерминированного автомата был определен существом задачи. Однако можно было использовать модель недетерминированного автомата и проверять детерминированность как часть задачи. Именно такие решения должны делаться методистами, исходя из определения степени свободы, которая предоставляется обучаемому [19]. Как говорилось выше, она должна быть достаточна для реализации собственных идей и не направлять деятельность обучаемого к заранее известному решению. В то же время, если модель имеет слишком много свободных параметров, у обучаемого появляется возможность экспериментировать с параметрами, которые автор-методист предпочел связать с другой задачей. Так в данном примере модель не позволяет решающему создать недетерминированный автомат. Это можно рассматривать, как обратную связь, способствующую лучшему пониманию обучаемым поставленной перед ним задачи.

Ограничение операционной среды модели – не единственный способ организации обратной связи. Главная составляющая в организации обратной связи – это возможность на примерах проверять экспериментально построенные решения.

Например, построенный автомат распознавания можно проверить на различных цепочках входных символов. Это дает возможность реагировать на частное решение. Для проверки окончательного решения используется алгоритм проверки эквивалентности автоматов.

Таким образом мы можем сформулировать тезис: *при разработке программной поддержки обучения математике нужно перенести наиболее подходящие для поставленных целей педагогические технологии в новые условия. Цель такого переноса – автоматизировать проверку продуктивной деятельности обучаемых, обеспечив им познавательную свободу, адекватную педагогической задаче.*

Эксперимент и первые результаты

На основе представленного подхода были разработаны четыре лабораторных работы, каждая из которых содержала четыре задачи различной сложности. Темы работ: «Логические схемы», «Конечные автоматы и регулярные выражения», «Предикаты и кванторы (Мир Тарского)», «Машина Тьюринга». В эксперименте участвовало 3 потока студентов – 20 учебных групп, около 300 студентов. Результаты эксперимента были оценены тремя способами: результатами экзамена, экспертной оценкой преподавателей, анкетой для студентов.

Количество задач, правильно решенных на письменном экзамене, возросло на 20 % при этом ошибок при решении задач из предметной области лабораторных работ было вдвое меньше, чем при решении задач, которые не были поддержаны лабораторными работами. Из ответов студентов можно заключить, что влияние лабораторных работ на владение понятиями существенно выше, чем влияние традиционных тестов на выбор ответа, которые проводились параллельно с лабораторными работами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов, Г.П. Задачи и упражнения по дискретной математике: учеб. пособие / Г.П. Гаврилов, А.А. Сапоженко. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
2. Лавров, И.А. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов / И.А. Лавров, Л.Л. Максимова. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
3. Лихтарников, Л.М. Математическая логика: курс лекций. Задачник-практикум и решения / Л.М. Лихтарников, Т.Г. Сукачева. – СПб. [и др.]: Лань, 2008. – 288 с.
4. Пионова, Р.С. Педагогика высшей школы: учеб. пособие / Р.С. Пионова. – Минск: Университетское, 2002. – 256 с.
5. Башкин, М.А. Инновационные методы в преподавании дисциплины «Дискретная математика» / М.А. Башкин, В.Г. Дурнев // Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 9. – С. 97–98.
6. Рындина, Ю.В. Формирование исследовательской компетентности студентов в рамках аудиторных занятий // Молодой ученый. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 127–131.
7. Разработка лабораторного практикума по курсу «Нечеткие модели дискретной математики» [Электронный ресурс] / А.Н. Тихомирова, Е.А. Несиоловская, Е.А. Кулиничев, Е.Е. Хатько // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6439>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 16.03.2017).
8. Кирсанов, М.Н. Графы в Maple / М.Н. Кирсанов. – М.: Физматлит, 2007. – 168 с.
9. Аляев, Ю.А. Дискретная математика. Практическая дискретная математика и математическая логика / Ю.А. Аляев, С.Ф. Тюрин. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 384 с.
10. Богульская, Н.А. Дискретная математика: учеб. пособие по циклу лаб. занятий / Н.А. Богульская, А.И. Постников, С.В. Исаев. – Красноярск: СФУ, 2008. – 147 с.
11. Функциональное и логическое программирование: лаб. практикум / сост. Д.В. Михайлов, Г.М. Емельянов; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород: [б. и.], 2007. – Ч. 2. – 88 с.
12. Князькова, Т.В. Программный обучающий комплекс по дискретной математике для дистанционного обучения // Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: сб. тез. докл. на 14 открытой всерос. конф., С.-Петербург, 19–20 мая 2016 г. – М.: 1С-Паблишинг, 2016. – С. 204–206.
13. Сборник тем курсовых работ по математике (алгебра, математическая логика, дискретная математика) / В.А. Молчанов, В.Е. Новиков, Т.М. Отрыванкина, П.Н. Пронин, В.Е. Фирстов; Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 68 с.
14. Рыбин, С.В. Система поддержки дистанционного обучения с использованием интернет-технологий // Компьютерные инструменты в образовании. – 2007. – № 5. – С. 49–54.
15. Иванов, С.Г. Работа на уроках математики со средой Verifier // Там же. – 1998. – № 1. – С. 58–66.

16. Манцеров, Д.И. Среда Verifier-KD: верификация решений задач по математике // Там же. – 2006. – № 4. – С. 36–41.
17. Pozdniakov, S. Domain specific language approach to technology-enhanced learning / Sergei Pozdniakov, Ilya Posov // RJMT. – 2014. – Vol. 3, № 1 (June). – Pp. 106–116.
18. Bogdanov, M. Multiplicity of the knowledge representation forms as a base of using a computer for the studying of the discrete mathematics / M. Bogdanov, S. Pozdnyakov, A. Pukhov // Pedagogika. – 2009. – Vol. 96. – Pp. 136–142.
19. Компьютерная поддержка дистанционного учебного исследования по математике / С.Г. Иванов, С. Мамаева, С.Н. Поздняков, Д.О. Степуленок, С.Б. Энтина // Компьютерные инструменты в образовании. – 2004. – № 2. – С. 5–18.
20. Богданов, М.С. Автоматизация проверки решения задач по формальному описанию ее условия // Там же. – 2006. – № 4. – С. 51–57.
21. Перченко, О.В. Автоматизация проверки решения геометрических задач по описанию их условий в предметно-ориентированном языке / О.В. Перченко, С.Н. Поздняков, И.А. Посов // Там же. – 2012. – № 1. – С. 37–44.
22. Башмаков, М.И. Информационная среда обучения / М.И. Башмаков, С.Н. Поздняков, Н.А. Резник. – СПб.: Свет, 1997. – 121 с.
23. Теория и практика продуктивного обучения / [под ред. М.И. Башмакова]. – М.: Народ. образование, 2000. – 284 с.
24. Вертгеймер, М. Продуктивное мышление / М. Вертгеймер. – М.: Прогресс, 1987. – 302 с.
25. Выготский, Л.С. Мышление и речь / Л.С. Выготский. – М.: Лабиринт, 1999. – 352 с.
26. Леонтьев, А.Н. Деятельность. Сознание. Личность / А.Н. Леонтьев. – М.: Политиздат, 1975. – 304 с.
27. Якиманская, И.С. Разработка технологии личностно-ориентированного обучения // Вопросы психологии. – 1995. – № 2. – С. 31–42.
28. Крылов, А.Н. Значение математики для кораблестроителя // Воспоминания и очерки / А.Н. Крылов. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 884 с.
29. Кудрявцев, Т.В. Развитие технического мышления учащихся / Т.В. Кудрявцев, И.С. Якиманская. – М.: Высш. школа, 1964. – 88 с.
30. Пейперт, С. Переворот в сознании: дети, компьютеры и плодотворные идеи: пер. с англ. / С. Пейперт. – М.: Педагогика, 1989. – 222 с.
31. Пойа, Д. Как решать задачу: пособие для учителей / Д. Пойа; пер. с англ. В.Г. Звонаревой, Д.Н. Белла; под. ред. Ю.М. Гайдука. – 2-е изд. – М.: ГИЗ МП РСФСР, 1961. – 208 с.
32. Пойа, Д. Математическое открытие. Решение задач: основные понятия, изучение и преподавание: пер. с англ. / Д. Пойа. – М.: Наука, 1970. – 452 с.
33. Bannon, Liam J. Constructing common information spaces / Liam J. Bannon, Susanne Bodker // ECSCW'97: Proc. Fifth Europ. Conf. on Computer Supported Cooperative Work, Lancaster, UK, 7–11 Sept. 1997. – Dordrecht [etc.]: Kluwer Acad. Publishers, 1997. – Pp. 81–96.