
ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

THEORY AND METHODOLOGY

УДК 378.096

ОБ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ И ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Н. В. БРОВКА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Для формирования вычислительного мышления у студентов механико-математических специальностей и их профессионально ориентированной реализации предлагается использовать межпредметные связи математических дисциплин, информатики и теоретической механики. На основе положений инженерии знаний описываются варианты дидактического конструирования содержания обучения посредством наглядного моделирования.

Ключевые слова: инженерия знаний; обучение математике; семантическое моделирование; аналитико-процедурное моделирование; компьютерное моделирование.

ON KNOWLEDGE ENGINEERING AND TRAINING OF STUDENTS OF MECHANICAL AND MATHEMATICAL SPECIALTIES

N. V. BROVKA^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Based on the provisions of knowledge engineering, the variants of didactic construction of the teaching content through visual modelling in the preparation of students of mechanical and mathematical specialties for the formation of computational thinking and the implementation of a professionally oriented orientation based on interdisciplinary connections of mathematical disciplines, computer science and theoretical mechanics are described.

Keywords: knowledge engineering; mathematics training; semantic modelling; analytical and procedural modelling; computer modelling.

Образец цитирования:

Бровка НВ. Об инженерии знаний и обучении студентов механико-математических специальностей. *Университетский педагогический журнал*. 2022;1:3–8.

For citation:

Brovka NV. On knowledge engineering and training of students of mechanical and mathematical specialties. *University Pedagogical Journal*. 2022;1:3–8. Russian.

Автор:

Наталья Владимировна Бровка – доктор педагогических наук, профессор; заведующий кафедрой теории функций механико-математического факультета.

Author:

Natalia V. Brovka, doctor of science (pedagogy), full professor; head of the department of function theory, faculty of mechanics and mathematics.
brovka@bsu.by

Введение

История развития науки свидетельствует о том, что самые продуктивные способы решения разнообразных проблем и задач базируются на знаниях экспертов. Неслучайно Э. Фейгенбаум – один из создателей экспертных систем, лауреат премии АСМ Turing 1994 г. – еще в конце 1970-х гг. предложил использовать термин «инженерия знаний» применительно к направлению, связанному с формализацией, организацией и обработкой знаний в информационных системах и выполняемой человеком либо компьютером деятельностью по оснащению программ специальными экспертными знаниями из некоторой проблемной области [1]. Этот термин не только прижился, но и получил развитие. Сегодня инженерия знаний – это методология, теория и технологии, связанные с методами поиска, анализа, организации, представления и обработки знаний (экспертов) в некоторой предметной области [2].

В условиях цифровой трансформации жизнедеятельности общества такие характеристики образования, как системность, междисциплинарность, гуманистическая направленность, усиление практико-ориентированного предметно-профессионального характера содержания, внимание к аксиологической составляющей обучения, сохраняют актуальность. Все это предполагает реализацию следующих требований:

- организации обратной связи;
- адаптивности – возможности составлять индивидуальную программу прохождения курса из фрагментов-модулей с учетом уровня подготовки студента, учиться в удобное время в разных формах (смешанное обучение, микрообучение, вебинары, подкасты, тренинги и др.);

- активно-деятельностной позиции обучаемых (разработка проектов и кейсов, веб-квесты, дискуссии, создание мастермайнд-групп, квизов и т. д.).

С начала 2000-х гг. получили развитие вычислительные концепции, педагогические технологии и методики, связанные с понятием «компьютерное мышление». Термин «компьютерное (вычислительное) мышление» появился еще в 1980 г., его ввел в научный оборот С. Пайперт, специалист по разработке искусственного интеллекта из Массачусетского технологического института. Стиль этого мышления существовал давно, но широко распространяться стал при создании первых электронно-вычислительных машин. Вычислительное, или компьютерное, мышление – это процесс решения проблем, который включает декомпозицию (разбиение сложной задачи на более простые задачи или шаги), выявление паттернов (установление ключевых признаков или схожих элементов простых задач, которые помогают более эффективно решить общую задачу), абстрагирование (фокусирование на существенных свойствах и связях и игнорирование второстепенных свойств и связей), разработку алгоритма (пошаговых инструкций для решения задачи, основанных на результатах выполнения первых трех шагов), автоматизацию и оценку оптимальности алгоритма [3]. Именно такой подход к решению задач соответствует принципам компьютерного (вычислительного) мышления, которое основано на способности мыслить логически, алгоритмически, аналитически и уметь находить эффективные способы решения задач. Таким образом, компьютерное мышление – это способ решения проблем людьми, а не попытка отождествить человеческое мышление с компьютерным.

Теоретические основы исследования

Характерная для математики абстракция является наиболее важным и высокоуровневым мыслительным процессом. Неслучайно Р. Курант писал: «Относительные и взаимно противоположные элементы математики – логика и интуиция, анализ и конструкция, общность и конкретность... Математика – образец универсально приложимого научного метода» (перевод наш. – Н. Б.) [4, р. 20].

Продуктивность обучения в условиях информатизации и цифровизации определяется тем, насколько продуманным является учет, во-первых, специфики содержания обучения, во-вторых, особенностей целевой аудитории. Эти факторы обуславливают особенности организации и разработки не только содержания, но и совокупности средств и методов обучения и взаимодействия в образовательной среде, в которой обучаемый получает опыт и достигает результатов.

В математике, информатике и дидактике по характеру информации различают декларативные знания – перечень понятий, связей, определений и свойств объектов – и процедурные знания, т. е. те, что описывают процедуры и механизмы построения, получения и исследования объектов. Важно отметить различия в трактовках термина «знания». В эпистемологии знание трактуется как форма памяти (социальной и индивидуальной), осознанная схема деятельности и общения, результат обозначения, структурирования и осмысления объекта в процессе познания [5]. В инженерии знаний, как в одном из направлений теории искусственного интеллекта, под знаниями понимается совокупность сведений о признаках, свойствах и закономерностях процессов и явлений, а также перечень условий и принципов использования этих данных на основе логических связей для принятия решений в некоторой проблем-

ной области. При этом отличительная особенность знаний состоит в том, что они представляют собой определенным образом организованные сведения. Активность знания проявляется в том, что изменение начальных условий, появление новых данных или установление новой связи дают импульс к изменениям в принятии решений [1; 2].

Что же общего у инженерии знаний с содержанием и методами, характерными для математики, информатики и дидактики? Схожие черты естественным образом прослеживаются в том, что база знаний представляет собой семантическую модель, описывающую некоторую специальную предметную область, и позволяет отвечать на такие вопросы из этой предметной области, ответы на которые в явном виде в ней отсутствуют. Знания, по сравнению с дан-

ными, более сложная информационная категория. Данные несут в себе фактическую информацию, связанную с состоянием объектов, процессов, явлений предметной области. Знания иногда называют структурированными данными, так как они описывают не только данные, но и взаимосвязи между ними.

Знания представляют собой более сложную категорию, поскольку включают не только фактическую информацию, касающуюся характеристик объектов, процессов, явлений предметной области, но и отражают отношения между данными [1; 3]. Таким образом, в инженерии знаний, как и в математике, информатике и дидактике, знания представляют собой результат мыслительной деятельности человека, направленной на обобщение его опыта и актуализацию этих знаний в процессе решения соответствующих задач.

Результаты и их обсуждение

В математике господствует язык формальной логики, а использование компьютерных технологий позволяет подключить язык семантических сетей (представление информации в виде знаково-символьных схем, графов и др.) и язык фреймовых моделей (разработка вариаций изучаемого математического объекта или их совокупности с опорой на устойчивые связи между их компонентами). Выявление методов решения типовых заданий, их комбинаций, а также разработка фреймовых моделей таких заданий с помощью компьютерных технологий включают элементы наглядного моделирования. Необходимо отметить, что речь идет не о программно-технических, а о содержательно-дидактических аспектах использования компьютерных технологий в обучении студентов. Предметное содержание математических, компьютерных и связанных с ними дисциплин предполагает достаточно объемный понятийный аппарат. Его использование включает освоение способов деятельности в соответствии с тем, что понятие – одна из форм отражения мира на рациональной ступени познания или мысль, которая обобщает в класс объекты из некоторой предметной области посредством указания на их общий и отличительный признаки [5]. В контексте данной трактовки одним из путей представления и организации учебного содержания является наглядное моделирование – использование различных видов наглядности (символьные, графические, семантические, аналитико-процедурные элементы, а также элементы инфографики и арт-рефлексии) в установлении свойств, отношений и связей математических объектов в процессе освоения обучающимся способов знаково-символьной, логико-вычислительной, аналитико-исследовательской деятельности. В таком случае при освоении содержания математических дисциплин будут достигнуты устойчивые результаты обучения, познания и развития, адекватно отвечающие поставленной цели [6]. Наглядное моделирова-

ние понимается как метод обучения, основная цель которого состоит не столько в иллюстративности, сколько в активизации мыслительной деятельности, придании импульса к реализации взаимосвязи сенсорной и понятийной сигнальных систем. Особую значимость реализация таких взаимосвязей имеет в обучении математике, механике и информатике, содержание которых включает внушительный перечень понятий, свойств, утверждений и логику взаимосвязей между ними.

Следуя терминологии инженерии знаний в естественных науках и математике, по характеру информации знания можно разделить на декларативные и процедурные. Декларативные знания представляют собой перечень понятий, связей, определений и свойств (математических объектов). Процедурные знания описывают процедуры и механизмы вычисления, построения, получения и исследования математических объектов [2]. При этом выделяются значимые элементы информации и определяют отношения между ними.

По способу приобретения знания в инженерии знаний подразделяются на фактические и эвристические. Фактические знания – это известные в данной предметной области факты и зависимости. Эвристические знания основаны на личном опыте эксперта, работающего в конкретной предметной области.

Такое разделение согласуется с логикой познания и освоения содержания обучения. Первый шаг освоения содержания – изучение понятийного аппарата – неразрывно связан со вторым шагом, состоящим в рассмотрении возможностей и способов действий с этими понятиями. Активизация и развитие мышления, включенность обучаемых в выстраивание логики рассуждений имеют деятельностную основу. Согласно исследованиям Р. Арнхейма, П. Я. Гальперина, Р. Грегори, В. А. Далингера, В. П. Зинченко, В. А. Крутецкого, Н. А. Резник и других авторов

продуманная визуализация является важным аспектом повышения эффективности понимания и запоминания. При этом ключевую роль играют 3 фактора:

- 1) цели, которые преследует преподаватель (учитель), разрабатывающий модель обучения;
- 2) специфика содержания обучения;
- 3) особенности целевой аудитории.

Как правило, разработка визуальных когнитивных моделей подразумевает создание образов-паттернов, которые могут быть выстроены в определенной последовательности в целях структурирования материала согласно определенному замыслу. В идеале такая организация материала предполагает возможность оптимизации траектории обучения.

В результате анкетирования студентов 1-го и 4-го (выпускного) курсов механико-математического факультета Белорусского государственного университета (87,4 % опрошенных составили первокурсники (78 человек) и 92,7 % – выпускники (82 человека)) было установлено, что в качестве ведущего мотива обучения признана возможность, во-первых, получить серьезную, фундаментальную математическую подготовку, во-вторых, освоить методы использования и создания современных компьютерных разработок. Таким образом, фундаментальное математическое знание становится все более значимым по мере того, как выступает основанием для систематизации и решения практико-ориентированных, прикладных задач.

Практика обучения студентов специальностей «математика (направление — научно-педагогическая деятельность)», «механика и математическое моделирование», а также «компьютерная математика и системный анализ» позволила прийти к выводу о том, что несмотря на достаточно высокий уровень их мотивации к изучению математики приемы активизации их учебно-познавательной деятельности и включения в процесс освоения содержания обучения должны различаться в зависимости от специфики профессиональной направленности. Выявление ключевых, повторяющихся применительно к разным математическим объектам свойств (отношений), разработка шаблонов (прототипов или фреймов), включающих методы решения типовых заданий и их комбинаций, а также составление диагностических заданий с помощью компьютерных технологий составляют суть семантического и аналитико-процедурного моделирования в процессе обучения студентов математике.

Семантическое моделирование – выявление общих черт в формулировках определений, свойств и теорем в целях формирования опыта знаково-символического оперирования математическими объектами. Семантическое моделирование предполагает использование приема смысловых опор и применяется для символьных записей определений, критериев или признаков, которые повторяются

в отношении различных математических объектов в курсе математического анализа. Например, ими могут выступать определения производных и интегралов, формулировок критерия Коши, равномерной и поточечной сходимости (последовательностей, функций, рядов, интегралов) [7].

Аналитико-процедурное моделирование состоит в разработке шаблонов (фреймов) заданий, включающих ряд параметров, в зависимости от которых необходимо применить тот или иной метод, критерий или признак. Данные шаблоны могут быть реализованы средствами *Volfram Mathematica*. Выполнение таких заданий направлено на развитие умения проанализировать условие, установить оптимальный метод решения или исследования и выбрать подходящую ориентировочную основу действий. Количество параметров в задачах увеличивается по мере их усложнения. Учет математических свойств этих объектов важен при определении допустимого диапазона входящих параметров, поскольку от этого зависят метод решения и результат [7].

Предложенные варианты моделирования содержания позволяют реализовать распределенное во времени реконструированное повторение материала, развить у студентов навыки обобщения и конкретизации, аналогии и сравнения, анализа и синтеза. Семантическое и аналитико-процедурное моделирование в процессе обучения студентов математике призвано решить следующие задачи:

- выявить ключевые, повторяющиеся применительно к разным математическим объектам свойства (отношения);
- разработать шаблоны (фреймы), включающие методы решения типовых заданий и их комбинаций;
- разработать диагностические задания с помощью компьютерных технологий.

Указанный подход используется в процессе обучения студентов указанных специальностей механико-математического факультета БГУ для того, чтобы закрепить у них математические знания, а также сформировать и развить методические умения в процессе изучения таких дисциплин, как «Математический анализ», «Практикум по решению математических задач», «Методы классификации и решения математических задач».

Специфика подготовки студентов-механиков состоит в том, что на всех этапах их обучения одной из важнейших является задача освоить методы построения адекватных математических моделей реальных процессов в природе и технике. Необходимо отметить, что в отличие от многих гуманитарных и математических дисциплин содержание теоретической механики имеет деятельностьную природу и результаты его освоения проверяются только в процессе деятельности. В связи с этим обязательным компонентом освоения курса теоретической механики является построение компьютерных мо-

делей механических процессов, при котором когнитивная и операциональная составляющие обучения не разделяются, а происходит их взаимосвязанная активизация, отражающая когнитивно-деятельностный аспект обучения [8].

Обучение курсу теоретической механики начинается с построения простейших моделей, которые усложняются по мере освоения студентами необходимого математического аппарата. Так, еще из школьного курса физики известны уравнения движения точки, брошенной под углом к горизонту, без учета силы сопротивления воздуха. Однако,

если учесть силу сопротивления, пропорциональную скорости, задача сведется к системе линейных дифференциальных уравнений. В случае движения с большими скоростями сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости и соответствующая математическая модель такого движения представляет нелинейную систему дифференциальных уравнений, интегрирование которой и исследование поведения движущегося тела при различных входных параметрах производятся численно и могут выполняться студентом уже в качестве курсовой работы по теоретической механике.

Заключение

Положения инженерии знаний, учет специфики содержания и реализация профессионально ориентированного обучения применяются на основе межпредметных (внутридисциплинарных и междисциплинарных) связей как дидактической категории, которая обозначает отношения и связи между объектами, понятиями и положениями, изучаемыми смежными науками, отражает явления действительности, находит выражение в содержании, формах и методах учебно-воспитательного процесса и выполняет образовательную, развивающую и воспитательную функции [9].

Такая организация содержания обучения предполагает решение следующих задач:

- комплексного использования символично-семантической и графической наглядности в сочетании с аналитико-алгоритмической деятельностью;
- включения элементов проблемного обучения в виде постановки вопросов или выявления противоречий, которые побуждают к самостоятельному осмыслению и изучению существенных связей,

свойств и отношений рассматриваемых математических объектов;

- переключения студентов с созерцательно-репродуктивной позиции на активно-деятельностную.

Применение указанных видов моделирования выступает инструментом повышения эффективности образовательного процесса, показателями которого являются востребованность и конкурентоспособность выпускников на рынке труда. Об этом свидетельствует то, что заказчиками выпускников механико-математического факультета БГУ являются свыше 120 организаций. Среди них такие государственные научные учреждения, как Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Институт математики НАН Беларуси, Физико-технический институт НАН Беларуси, Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Научно-исследовательский институт технической защиты информации, предприятие «Агат», Минский электромеханический завод, Минский завод холодильников «Атлант», а также банки, ИТ-компании и др. [10].

Библиографические ссылки

1. Feigenbaum EA. Knowledge engineering. The applied side of artificial intelligence. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1984;426:91–107. DOI: 10.1111/j.1749-6652.1984.tb16513.x.
2. Баррат Д. *Последнее изобретение человечества: искусственный интеллект и конец эры Homo sapiens*. Лисова Н, переводчик; Никольский А, редактор. Москва: Альпина нон-фикшн; 2015. 362 с.
3. Kallia M, van Borkulo SP, Drijvers P, Barendsen E, Tolboom J. Characterising computational thinking in mathematics education: a literature-informed Delphi study. *Research in Mathematics Education*. 2020;3:159–187. DOI: 10.1080/14794802.2020.1852104.
4. Courant R, Robbins H, Stewart I. *What is mathematics? An elementary approach to ideas and methods*. 2nd edition. New York: Oxford University Press; 1996. 591 p.
5. Касавин ИТ, редактор. *Энциклопедия эпистемологии и философии науки*. Москва: Канон+; 2009. 1248 с. Совместно с РООИ «Реабилитация».
6. Бровка НВ, Ляцкая АВ. Об организации содержания в процессе онлайн и офлайн обучения студентов математическому анализу. В: Боженкова ЛИ, Егупова МА, редакторы. *Актуальные проблемы обучения математике и информатике в школе и вузе: материалы VI Международной научной интернет-конференции; 11–12 декабря 2020 г.; Москва, Россия*. Москва: МПГУ; 2021. с. 252–257.
7. Бровка НВ. О моделировании при обучении студентов математике и информатике. В: Малова ИЕ, Мордкович АГ, редакторы. *Развитие общего и профессионального математического образования в системе национальных университетов и педагогических вузов: материалы 40-го Международного научного семинара преподавателей математики и информатики университетов и педагогических вузов; 7–9 октября 2021 г.; Брянск, Россия*. Брянск: Худовец Р. Г.; 2021. с. 135–138.
8. Бровка НВ, Медведев ДГ, Вярвильская ОН. Об оценке эффективности и уровнях обучения студентов-механиков. *Математические методы в технике и технологиях*. 2020;7:97–102.

9. Король АД, Бровка НВ. Об актуальности исследований по теории обучения математике и информатике. *Педагогическая информатика*. 2018;1:119–129.

10. Медведев ДГ. Организация обучения студентов-механиков в информационно-образовательной среде классического университета. Минск: БГУ; 2018. 215 с.

References

1. Feigenbaum EA. Knowledge engineering. The applied side of artificial intelligence. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1984;426:91–107. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1984.tb16513.x.

2. Barrat D. *Our final invention: artificial intelligence and the end of the human era*. New York: Thomas Dunne Books; 2013. 322 p.

Russian edition: Barrat D. *Poslednee izobretenie chelovechestva: iskusstvennyi intellekt i konets ery Homo sapiens*. Lisova N, translator; Nikolskii A, editor. Moscow: Alpina non-fiction; 2015. 362 p.

3. Kallia M, van Borkulo SP, Drijvers P, Barendsen E, Tolboom J. Characterising computational thinking in mathematics education: a literature-informed Delphi study. *Research in Mathematics Education*. 2020;3:159–187. DOI: 10.1080/14794802.2020.1852104.

4. Courant R, Robbins H, Stewart I. *What is mathematics? An elementary approach to ideas and methods*. 2nd edition. New York: Oxford University Press; 1996. 591 p.

5. Kasavin IT, editor. *Entsiklopediya epistemologii i filosofii nauki* [Encyclopedia of epistemology and philosophy of science]. Moscow: Canon+; 2009. 1248 p. Co-published by the ROOI «Reabilitatsiya». Russian.

6. Brovka NV, Lyatskaya AV. [On the organisation of content in the process of online and offline teaching of students in mathematical analysis]. In: Bozhenkova LI, Egupova MA, editors. *Aktual'nye problemy obucheniya matematike i informatike v shkole i vuze: materialy VI Mezhdunarodnoi nauchnoi internet-konferentsii; 11–12 dekabrya 2020 g.; Moskva, Rossiya* [Actual problems of teaching mathematics and computer science at school and university: materials of the 6th International scientific internet conference; 2020 December 11–12; Moscow, Russia.]. Moscow: Moscow Pedagogical State University; 2021. p. 252–257. Russian.

7. Brovka NV. About modelling in teaching students mathematics and computer science. In: Malova IE, Mordkovich AG, editors. *Razvitie obshchego i professional'nogo matematicheskogo obrazovaniya v sisteme natsional'nykh universitetov i pedagogicheskikh vuzov: materialy 40-go Mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru prepodavatelei matematiki i informatiki universitetov i pedagogicheskikh vuzov; 7–9 oktyabrya 2021 g.; Bryansk, Rossiya* [Development of general and professional mathematical education in the system of national universities and pedagogical universities: materials of the 40th International scientific seminar for teachers of mathematics and computer science of universities and pedagogical universities; 2021 October 7–9; Bryansk, Russia]. Bryansk: Khudovets R. G.; 2021; p. 135–138. Russian.

8. Brovka NV, Medvedev DG, Vyarvilsкая ON. On evaluation of efficiency and levels of education of mechanical students. *Mathematical Methods in Engineering and Technologies*. 2020;7:97–102. Russian.

9. Korol' AD, Brovka NV. About relevance of researches on the theory of training in mathematics and informatics. *Pedagogicheskaya informatika*. 2018;1:119–129. Russian.

10. Medvedev DG. *Organizatsiya obucheniya studentov-mekhanikov v informatsionno-obrazovatel'noy srede klassicheskogo universiteta* [Organisation of student's training of mechanics in the information and educational environment of a classical university]. Minsk: Belarusian State University; 2018. 215 p. Russian.

Статья поступила в редакцию 15.02.2022.
Received by editorial board 15.02.2022.