

Модель образовательного контента: от структурирования понятий к адаптивному обучению*

Цель исследования. В современных условиях изменения мирового «образовательного ландшафта» ведущим трендом в построении новой системы управления учебным процессом выступает персонализация образовательного процесса в электронной среде. Развиваются новые педагогические технологии и инновационные формы организации персонализированного обучения в электронной среде, одним из которых выступает адаптивное обучение. Разработка структуры и содержания адаптивных электронных обучающих курсов, проектирование и реализация образовательной стратегии, методики обучения, подходов к оцениванию результатов определяется моделью его предметной области – моделью образовательного контента. Цель исследования заключается в разработке подхода к построению модели образовательного контента адаптивного электронного обучающего курса, обеспечивающей формализованное представление учебного материала дисциплины и построение логически обоснованной стратегии его изучения.

Материалы и методы. Методологическую базу исследования составляют методы логико-гносеологического анализа и теории графов, а также сравнительно-сопоставительный анализ психолого-педагогической, научно-методической литературы, анализ нормативно-методических документов по проблематике исследования, профессиональных и федеральных образовательных стандартов высшего образования.

Результаты. Особенностью авторского подхода выступает структурирование предметной области в виде последовательности термов (учебных объектов) образовательного контента, изучаемых в определенном порядке и представленных в нескольких редакциях изложения. Представленная модель построения образовательного контента учебной дисциплины отличается от известных наличием логического упорядочения понятий на основе интеграции логических методов анализа понятий, логико-гносеологических методов соотношения объема и со-

держания понятий с методами теории графов и гиперграфов; определением учебных объектов дерева (древесного гиперграфа) термов, полученного на основе дерева понятий дисциплины; определением последовательности их изучения; включением в содержание учебного объекта феноменологической и структурной модели, позволяющей идентифицировать и раскрывать сущность каждого изучаемого понятия в рамках предметной области дисциплины.

Заключение. Предложенный подход апробирован в учебном процессе студентов направления 09.03.02 – «Информационные системы и технологии» Сибирского федерального университета. Обработка результатов и оценка эффективности внедрения в учебный процесс разработанного адаптивного электронного обучающего курса осуществлялась с применением рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса. В результате проведенного эксперимента выявлено, что на конец эксперимента контрольная и экспериментальная группы статистически значимо различаются, что позволило сделать вывод об эффективности внедрения в учебный процесс разработанного адаптивного электронного обучающего курса. Адаптивные электронные обучающие курсы, построенные на основе предложенного авторами подхода, позволили осуществить представление образовательного контента в виде логически целостных микропорций, позволяющих производить адаптацию образовательной среды под индивидуальные характеристики обучающихся. В перспективе предложенный подход может способствовать разработке персонализированной адаптивной обучающей экосистемы вуза в условиях цифровизации образования.

Ключевые слова: модель образовательного контента, адаптивный электронный обучающий курс, предметная область дисциплины, электронное обучение, адаптивное обучение, персонализация.

Julia V. Vainshtein, Roman V. Esin, Gennady M. Tsibulsky

School Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Learning Content Model: from Concept Structuring to Adaptive Learning

The aim of the study. In modern conditions of changing the global “educational landscape”, the leading trend in building a new educational process management system is the personalization of the educational process in the electronic environment. New pedagogical technologies and innovative forms of organizing personalized learning in the electronic environment are developing, one of which is adaptive learning. The development of the structure and content of adaptive e-learning courses, the design and implementation of an educational strategy, teaching methods, and approaches to assessing results is determined by the model of its subject domain - the model of learning content. The aim of the study is to develop an approach to constructing the learning content model of an adaptive e-learning

course that provides a formalized presentation of the educational material of the discipline and the construction of a logically based strategy for its study.

Materials and methods. Methodological basis of research methods make up the logical-epistemological analysis and graph theory, and comparative analysis of psychological and pedagogical, scientific and methodical works, analysis of regulatory documents on research issues, professional and federal educational standards of higher education.

Results. A feature of the author's approach is structuring of the subject domain in the form of a sequence of terms (training objects) of the learning content, studied in a certain order and presented in several versions of the presentation. The presented model for constructing

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-013-00654.

the learning content of the academic discipline differs from the well-known ones by the presence of logical ordering of concepts based on the integration of logic methods of concept analysis, using logical and epistemological methods for correlating the volume and content of concepts with the methods of graph theory and hypergraphs. The definition of educational objects of a tree (hypergraphic tree) of terms is obtained on the basis of a concept tree of discipline with a further determination of the sequence of their study, as well as the inclusion of a phenomenological and structural model in the content of the educational object, which allows to identify and disclose the essence of each studied concept within the framework of the subject domain of discipline.

Conclusion. The proposed approach has been tested in the educational process of the program 09.03.02 – “Information systems and technologies” at the Siberian Federal University. Analysis of observations and evaluating the effectiveness of adaptive

e-learning course in the educational process was carried out using the Kruskal-Wallis test by ranks. As a result of the experiment, it was revealed that at the end of the experiment, the control and experimental groups were statistically significantly different, which allowed us to conclude that the adaptive e-learning course developed in the educational process was effective. Adaptive e-learning courses, which are based on the approach proposed by the authors, made it possible to present educational content in the form of logically integral micro portions, which allow the adaptation of the educational environment to the individual characteristics of students. In the future, the proposed approach can contribute to development of personalized adaptive learning university ecosystems under digitalization formation.

Keywords: learning content model, adaptive e-learning course, subject domain of discipline, e-learning, adaptive learning, personalization.

Введение

Интеграция образования России в мировое образовательное пространство с целью определения собственного места в формирующейся глобальной системе электронного обучения (ЭО) является приоритетным направлением развития электронного образования РФ. Пандемия наглядно продемонстрировала потребность в онлайн образовании и разработке инновационных электронных ресурсов и курсов. Электронное обучение становится неотъемлемой частью современной дидактики высшей школы в условиях цифровой трансформации образования [1]. Целью специалистов в области электронных образовательных технологий становится разработка современных методик электронного обучения и инструментов анализа образовательного процесса для реализации тренда «обучение в течение всей жизни» [2]. Активно развиваются подходы использования электронных ресурсов в образовательном процессе путем интеграции и взаимного дополнения технологий традиционного и электронного обучения [3]. В современных условиях изменения мирового «образовательного ландшафта» ведущим трендом в построении новой системы управления учебным процессом выступает персонализация образовательного процесса в электронной среде. Развиваются новые

педагогические технологии и формы организации персонализированного обучения в электронной среде, например, адаптивное обучение.

Анализ образовательной практики в сфере адаптивного обучения свидетельствует о многообразии его моделей и активном развитии новых современных подходов и технологий к его реализации. Среди которых можно выделить следующие направления исследований: разработка веб-ориентированных адаптивных обучающих систем [4], формирование моделей поведения обучаемых [5–6], развитие механизмов адаптации образовательного контента [7–8], реализация индивидуальных образовательных траекторий [9–10], разработка адаптивных электронных обучающих курсов на базе систем управления обучением (Learning Management System) [11]. Отметим, что под адаптивным электронным обучающим курсом в статье понимается электронный обучающий курс, обеспечивающий формирование индивидуальной образовательной траектории и предоставляющие студенту персональное образовательное пространство, наполненное образовательным контентом, форма и содержание которого «подстраивается» под индивидуальные характеристики обучающихся и обеспечивает их необходимой информацией [11]. Проектирование адаптивных электронных обучающих

курсов (АЭОК), определение и применение подходов к оцениванию результатов обучения определяется структурой знаний, заложенной в модель предметной области – модель образовательного контента, являющейся основой любого АЭОК.

В последние годы трендом представления образовательного контента электронных обучающих курсов выступает микрообучение (microlearning), которое представляет собой обучение небольшому объему материала за короткий промежуток времени [12]. Принципы микрообучения необходимо учитывать и развивать при создании адаптивного контента. Стоит заметить, что существующие образовательные практики адаптивного обучения в основном ориентированы на разделение образовательного контента на фрагменты и ключевым фактором разделения выступает лишь продолжительность времени, затрачиваемого на его изучение [13–14]. Это зачастую не включает переработку содержания учебного материала и влечет проблему фрагментарности и отсутствия логической связности разрабатываемых электронных курсов. Однако следует подчеркнуть, что современные требования к микропорциям учебного материала состоят в том, что они должны представлять собой самостоятельные фрагменты образовательного контента и удовлетворять критериям логической

целостности, самостоятельности, полноты и проверяемости. Таким образом, возникает задача структурирования образовательного контента и построения модели предметной области адаптивного электронного обучающего курса.

В этих условиях весьма актуальной представляется цель исследования, заключающаяся в разработке подхода к построению модели образовательного контента АЭОК, обеспечивающей формализованное представление учебного контента дисциплины и построение логически обоснованной стратегии его изучения. Создание качественной модели построения образовательного контента учебной дисциплины, отвечающей современным требованиям, может быть достигнуто за счет интеграции логических методов анализа понятий, логико-гносеологических методов соотношения объема и содержания понятий с методами теории графов и гиперграфов. Это позволит формализовано представлять учебный материал, определять адаптивную стратегию его изучения и осуществлять автоматизированную адаптацию образовательной среды под индивидуальные характеристики обучающихся.

Модель образовательного контента АЭОК

В работе представлен авторский подход к построению модели образовательного контента (предметной области) адаптивного электронного обучающего курса. Реализацию АЭОК в работе предлагается осуществлять на базе систем дистанционной поддержки образовательного процесса, а именно в системе дистанционного обучения LMS Moodle. Модель предметной области дисциплины для АЭОК предлагается представить в виде дерева термов, включающего понятия предметной области и дерева операций над ними.

Структурирование модели предметной области дисциплины для АЭОК предлагается выполнять на основе методов логико-гносеологического анализа понятий [15–16]. Структуру предметной области дисциплины представить в виде дерева, где вершины соответствуют понятиям предметной области дисциплины, а отношения между ними – это отношения иерархии: «родовидовые» и «часть-целое».

В литературе в исследованиях Войшвилло Е.К., Тюхтина В.С., Асмуса В.Ф., Куваева М.Р. встречаются различные трактовки термина «понятие» [15–18]. Мы вслед за Тюхтиным В.С. будем придерживаться трактовки понятия как результата обобщения предметов некоторого вида и мысленного выделения соответствующего класса (множества) по определенной совокупности существенных признаков (свойств) [16]. Всякое понятие S характеризуется двумя видами моделей: феноменологической и структурной моделью.

Феноменологическая модель понятия имеет вид: $C_f = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, где x_1, x_2, \dots, x_n – существенные признаки понятия, минимальный набор которых достаточен для идентификации описываемого понятия из всех понятий данной предметной области независимо от текущих целей обучения – внешняя гетерогенность понятия.

Структурная модель понятия имеет вид: $C_s = \{A, R\}$, где A – множество подпонятий описываемого понятия, R – множество существенных признаков подпонятий A , которые образуют феноменологические модели подпонятий – внутренняя гетерогенность понятия. Внешняя и внутренняя гетерогенность понятия представляют собой две основные характеристики понятия – качественную и количественную.

Понятие предметной области характеризуется своим объемом

и содержанием. Объем понятия (экстенционал, степень общности) – множество его подпонятий, то есть оно представляет собой совокупность классов объектов, входящих в понятие. Содержание понятия (интенционал) – конечный минимальный набор существенных признаков. Интенционал понятия может быть представлен эталонном класса, обладающим усредненными значениями признаков в пределах своего объема и допустимым разбросом значений признаков.

Любое понятие может быть определено через указание его интенционала или экстенционала. Первый способ – это определение понятия через соотнесение его с понятием более высокого уровня абстракции с указанием существенных свойств определяемого понятия и допустимого разброса свойств. Тогда эталон определяемого понятия является представителем (реализацией, частным случаем) понятия более высокого уровня абстракции. А экстенционал понятия определяет понятие через соотнесение с понятиями более низкого уровня абстракции, что представляет собой определение понятия через данные. В этом случае необходимо указать все реализации объема определяемого понятия. Например, содержание понятия «сочетание» включает следующие два признака: «быть k -элементной выборкой» и «выборка неупорядоченная», а объем понятия «сочетание» составляет сочетания без повторения и сочетания с повторением.

При построении дерева понятий предметной области выделяются следующие типы понятий: дифференциально общие понятия, интегрально общие понятия и переходные между ними собирательно общие понятия [16]. Эти понятия отличаются друг от друга по своим логико-гносеологическим свойствам и функциям. Дифференциально общие понятия представляют собой

понятия, в которых объекты по выбранным существенным признакам отождествляются в единый класс, а остальные признаки отбрасываются и не включаются в значение (смысл) данного понятия. Содержание интегрально общих понятий включает сведения о частных случаях того или иного признака (сведения о подклассах данного класса объектов), которые выводимы из них при помощи наложения ограничений извне или содержательной классификации, отражающей весь путь развития понятия.

Например, понятие логической операции в математической логике в дифференциально общей форме может быть определено как набор операций над высказываниями, позволяющий получать новые сложные высказывания из простых, а в интегральной форме понятие логической операции включает в себя ее основные связи: конъюнкцию, дизъюнкцию, импликацию и отрицание.

Дифференциально общие понятия подчиняются формально-логическому закону обратного отношения между содержанием и объемом понятия, то есть чем больше содержание понятия, тем меньше его объем. Иными словами, чем больше признаков входит в понятие, тем меньше предметов это понятие охватывает (и наоборот). Например, понятие «Отношение линейного порядка» в теории множеств и отношений содержит больше признаков и соответственно меньше по содержанию, чем понятие «Отношение порядка», следовательно, объем первого понятия меньше, чем объем второго, так как отношения линейного порядка являются подклассом всех отношений порядка.

Интегрально общие понятия характеризуют как прямое (гносеологическое), так и обратное (логическое) отношения их содержания и объема. Этим отношениям соответствуют соподчиненные и родо-

видовые отношения, входящих в это понятие признаков.

Например, дерево понятий интегрально общего понятия «Комбинаторика» при изучении дисциплины «Дискретная математика» представляет собой несколько уровней соподчиненных понятий, в содержании которых отображены разновидности более общего признака. Понятие «Комбинаторика» может быть разделено на два соподчиненных понятия «Комбинаторные принципы» и «Комбинаторные конфигурации». Понятие «Комбинаторные конфигурации» делится на соподчиненные понятия: размещения и сочетания. Каждому признаку, характеризующему эти понятия, соответствует свой класс объектов. Набор признаков уровней общности, образующих вертикали дерева понятий, представляет собой родовидовые отношения.

Если при построении модели предметной области в дереве понятий не удастся установить отношения между некоторыми понятиями, то возникает смысловой разрыв предметной области, нарушается ее единство. Это демонстрирует неоднородность предметной области дисциплины, и она должна быть

представлена в виде совокупности деревьев понятий, а учебные материалы дисциплины в виде отдельного модуля для каждого дерева. В этом случае каждый модуль дисциплины будет обладать целостным содержанием. Возникновение смыслового разрыва предметной области дисциплины обуславливает необходимость введения в образовательный процесс учебного проекта, обеспечивающего взаимосвязь модулей курса.

Авторами предложенный подход к структурированию предметной области применялся в дисциплинах математического и естественнонаучного цикла для студентов направления 09.03.02 – «Информационные системы и технологии» Сибирского федерального университета. Например, при построении дерева понятий по дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов», все понятия, относящиеся к понятию «Формальные теории» выстраиваются в отдельное дерево, фрагмент которого представлен на рис. 1.

Понятие «Алгоритм» с точки зрения оценки вычислительной сложности можно представить как отдельное дерево понятий, рис. 2.

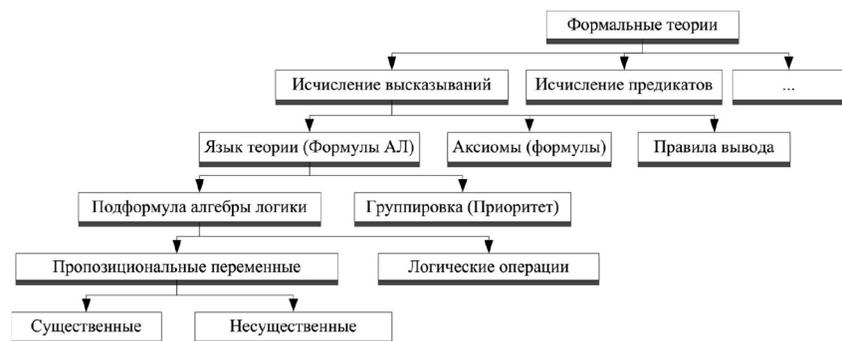


Рис. 1. Фрагмент дерева понятий по дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов»

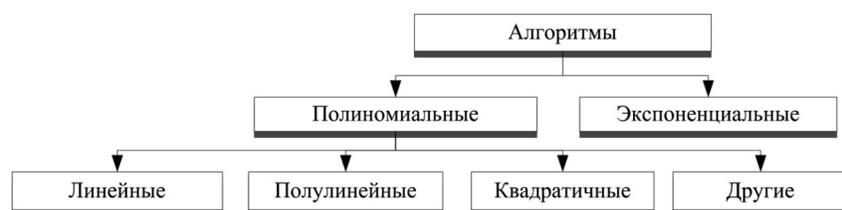


Рис. 2. Фрагмент предметной области по дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов»

Возникающая ситуация построения в рамках одной дисциплины более одного дерева понятий наглядно демонстрирует ситуацию смыслового разрыва дисциплины и определяет необходимость введения в учебный процесс учебного проекта, обеспечивающего измерение субкомпетенций, формируемых каждым деревом. Например, когда студенту предлагается учебный проект, в котором необходимо осуществить программную реализацию некоторого изученного алгоритма и произвести оценку его вычислительной сложности.

Далее, дерево понятий используется в качестве основы для выделения минимальных порций теоретического материала — термов. Под термом мы понимаем последовательность семантических фактов и процедурных правил, имеющую смысловую законченность. Каждый терм представляет собой некоторый фрагмент дерева понятий дисциплины. При этом дерево термов представляет собой гиперграф понятий (древесный гиперграф), в котором ребром соединены подмножества понятий, входящих в терм.

Изучение термов осуществляется последовательно: от общего к частному, что позволяет соотнести понятия термина с их местом в общей структуре курса и способствует формированию целостного восприятия дисциплины. Определение последовательности изучения материалов курса может осуществляться методом обхода дерева термов поиском в ширину. Это позволяет получить фиксированную последовательность изучения материалов курса и распределить ее экспертным путем во времени, например, по учебным неделям, рис. 3. То есть осуществляется определение базового темпа обучения — распределения термов по неделям, входящим в срок освоения курс-



Рис. 3. Последовательность изучения термов курса

са, что, несомненно, является важной особенностью предлагаемой модели предметной области дисциплины.

При включении понятий в терм мы, применяя стратегию микрообучения, руководствуемся следующими критериями:

- ограничение по объему — каждый терм содержит не более пяти понятий; в случае, когда понятие является информационно насыщенным, оно может выделяться в отдельный терм;

- полнота — при формировании термина реализуется принцип вложения мелких структурных единиц в крупные, то есть вместе с понятием небольшого объема включаются связанные с ним более мелкие понятия;

- проверяемость — все понятия термина допускают возможность проверки их усвоения.

Представление предметной области в виде дерева позволяет структурировать дисциплину на уровне основных понятий и заложить основу для основных учебных действий: усвоения понятий в сфере их определения и выявления основных признаков и свойств изучаемых объектов и выявления структурно-логических связей в рамках изучаемой теории [18].

Но изучение любой дисциплины не ограничивается усвоением понятий и обоснованием их свойств и связей. В дидактическом плане важной составляющей образовательного процесса в адаптивном электронном обучающем курсе выступает формирование у обучающихся компетенций в соответствии с ФГОС ВО и образовательной программой через

декомпозицию компетенций на индикаторы их достижения, в качестве которых выступают знания, умения и трудовые действия, в дальнейшем декомпозируемые на множество проверяемых дескрипторов в оценочных средствах дисциплины. Под знаниями в работе понимается освоенная специализированная информация в виде понятий, их основных признаков и связей.

Под умениями в работе предлагается понимать способность осуществлять операции над изученными понятиями предметной области дисциплины [10] и независимо от предметной области опираться на классически выделяемые виды операций над понятиями: обобщение, ограничение, включение, пересечение, объединение и дополнение. Обратимся к сущности данных операций и примерам их применения при создании контрольно-измерительных материалов.

Операция «обобщение» осуществляет расширение объема понятия путем уменьшения его признакового описания. При этом увеличивается объем понятия и уменьшается содержание. Пределом операции обобщения понятий выступает наиболее общее понятие предметной области, то есть понятие, которое является корневым узлом дерева понятий.

Например, в дисциплине «Дискретная математика» в качестве задания на применение операции обобщения понятий выступает следующее тестовое задание.

Задание. Упорядочите понятия «Множество», «Элемент множества» и «Подмножество» от наименее общего к наиболее общему.

Варианты ответов:

- а) Множество
- б) Элемент множества
- в) Подмножество

Эталон (верный ответ):

б, в, а

Операция «ограничение» осуществляет сужение объема понятия путем увеличения его признакового описания. Предделом операции ограничения понятий выступает понятие, относящееся к терминальной вершине дерева – листу, то есть понятие, которое невозможно сузить в рамках предметной области дисциплины.

Например, в дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов» в качестве задания на применение операции ограничения понятий выступает следующее задание.

Задание.

Дана формула $X \wedge Y \vee X \wedge Z$. Определите элементарные конъюнкты совершенной дизъюнктивной нормальной формы заданной формулы.

Варианты ответов:

- а) $X \wedge Y \wedge \bar{Z}$
- б) $X \wedge Y \wedge Z$
- в) $X \wedge \bar{Y} \wedge Z$
- г) $\bar{X} \wedge Y \wedge \bar{Z}$

Эталон (верный ответ):

а, б, в

Операция «включения» $A \subset B$ – понятие A является частью понятия B , при этом всем объектам понятия A приписываются признаки более широкого понятия B . Понятие A обобщается, его признаковое описание сокращается за счет исключения различающихся признаков описаний понятий A и B . Тогда объем знаний (содержание понятия), который содержит понятие B , меньше объема, который содержит понятие A .

Любое понятие дерева понятий является включением, если множество объектов этого понятия принадлежит множеству объектов некоторого понятия верхнего уровня. Например, понятие «Покрытие» является включением для понятия «Разбиение» в дискретной математике.

Операция «пересечения» $C = A \cap B$ – образуется третье понятие, объем которого представляет собой пересечение экстенсионалов первых двух понятий, при этом объекты третьего понятия характеризуются объединением признаков первых двух путем включения всех признаков понятий-операндов.

Экстенсионал нового понятия не больше экстенсионалов исходных понятий-операндов, объекты образуемого понятия имеют более длинное признаковое описание (или совпадающее с одним из понятий-операндов при иерархической подчиненности понятий), следовательно, объем знаний, который содержит новое понятие, больше объема знания, который содержат исходные понятия-операнды (или совпадает с объемом знаний одного из понятий-операндов при существовании между ними иерархической подчиненности). Например, если применить операцию пересечения к понятиям «Покрытие» и «Разбиение», то результатом будет понятие «Разбиение».

Операция «объединения» $C = A \cup B$ – объем понятия C представляет собой суммарный объем понятий A и B , при этом набор признаков объектов понятия C – пересечение признаков объектов объединяемых понятий. Пересечение признаков описаний объединяемых понятий – сужение признакового описания за счет всех различающихся признаков объединяемых понятий. Таким образом, понятие C содержит меньший объем знаний в отличие от объема знаний, который содержат понятия-операнды операции объединения. Например, объединение понятий «Покрытие» и «Разбиение» дает понятие «Покрытие».

Операция «дополнения» для понятия A – понятие C : $C = U \setminus A$. Объем понятия C образуется как совокупность

тех объектов, которые дополняют A до универсума U . U – это некоторое универсальное множество, которое в рассматриваемом контексте следует определить как набор объектов, характеризующихся одной системой признаков.

Например, рассмотрим множество всех полных графов – простых неориентированных графов, которые характеризуются смежностью каждой пары различных вершин. Дополнением этого понятия – выступают все графы, которые не могут быть отнесены к рассматриваемому понятию (не являются объектами его экстенсионала), то есть графы не являющиеся полными. Таким образом, набор признаков дополнения – это разница между полным набором признаков (системой признаков) рассматриваемых объектов (графов) и набором признаков исходного понятия. Полный набор признаков (система признаков) формируется, как правило, эмпирически.

Операция ограничения понятия противоположна по своему смыслу операции обобщения – введения нового признака в описание класса объектов, что по смыслу является дополнительным ограничением на объекты класса. Чем большим числом признаков характеризуется объект, тем более полно характеризует его соответствующее понятие, тем больший объем знаний об отображаемом объекте содержит понятие. Рост числа признаков – рост числа отличий отображаемого объекта от всех остальных объектов. Рост числа признаков в конечном итоге приводит к формированию уникального описания объекта, отличающего его от всех остальных объектов заданной предметной области. Уникальное описание объекта $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ можно рассматривать как набор существенных свойств рассматриваемого объекта для заданной предмет-

ной области. Тогда процесс роста размерности признакового описания объекта – процесс уточнения содержания соответствующего понятия, рост объема знаний, который содержит уточняемое понятие.

Очевидно, что рассмотренные отношения применимы только к однородным (гомогенным) понятиям, когда экстенционалы понятий-операндов образуются объектами одного порядка (одного уровня общности), какими, например, являются все простые неориентированные графы. Однородными понятиями будем называть такие понятия, которые характеризуются одной системой признаков. Например, для графов как объектов таковой системой признаков являются отношения смежности, которые можно рассматривать как достаточную систему признаков для их описания независимо от решаемых задач.

Если понятия характеризуются различными системами признаков, то эти понятия являются разнородными (гетерогенными). Например, гиперграфы наряду с отношениями смежности вершин характеризуются еще и отношениями смежности, возникающими между подмножествами вершин. Таким образом, возникает новая система признаков, достаточная для описания гиперграфов.

Таким образом, рассматривая каждый сформированный терм, входящие в него понятия, его содержание можно расширить за счет операций, которые к ним применимы. Это позволяет осуществить проектирование набора контрольно-измерительных материалов, позволяющих обеспечить контроль усвоения каждого термина и формирования целостной микропорции образовательного контента. Для этого необходимо априорно задать дерево операций или их совокупности в явном виде. При построении дерева опера-

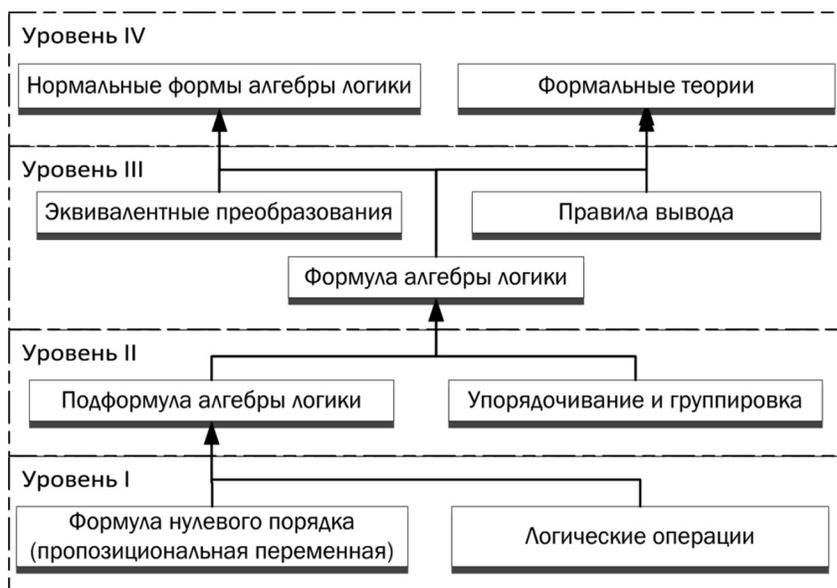


Рис. 4. Фрагмент дерева операций дисциплины «Математическая логика и теория алгоритмов»

ций над понятиями адаптивного электронного обучающего курса возможна ситуация, при которой при объединении одного понятия-операнда с различными понятиями-операторами осуществляется формирование различных результирующих понятий.

Рассмотрим применение различных понятий-операторов к понятиям-операндам при построении дерева операций для модуля «Алгебра логики» по дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов», фрагмент которого представлен на рис. 4. Например, при объединении понятия-операнда «Формула алгебры логики» с понятием-оператором «Правила вывода» результирующим понятием выступает понятие «Формальные теории», а при объединении понятия-операнда «Формула алгебры логики» с понятием-оператором «Эквивалентные преобразования» результирующим понятием выступает понятие «Нормальные формы алгебры логики».

По мере роста уровня абстракции операндов и операторов в дереве операций увеличивается сложность формируемых у обучаемого умений, начиная от выделения из

предметной области высказываний и введения соответствующих им пропозициональных переменных (задания формул нулевого порядка), построения подформул алгебры логики, затем сложных формул алгебры логики и далее увеличивая уровень абстракции умений до построения выводов в формальных теориях, например, в исчислении высказываний, рис. 5.

На операндах каждого уровня возможно построение разных операндов более высокого уровня. Например, при формировании у обучаемого умений, начиная от построения формул нулевого порядка до приведения их к нормальным формам алгебры логики, возрастает уровень абстракции, рис. 6.

Таким образом, модель предметной области включает два вида понятий: операторы и операнды. В качестве понятий-операндов выступают понятия предметной области изучаемой дисциплины, а понятия-операторы описывают совершаемые действия над понятиями-операндами (рассмотренные выше операции).

В данном контексте формирование умения на каждом шаге обучения состоит в том,

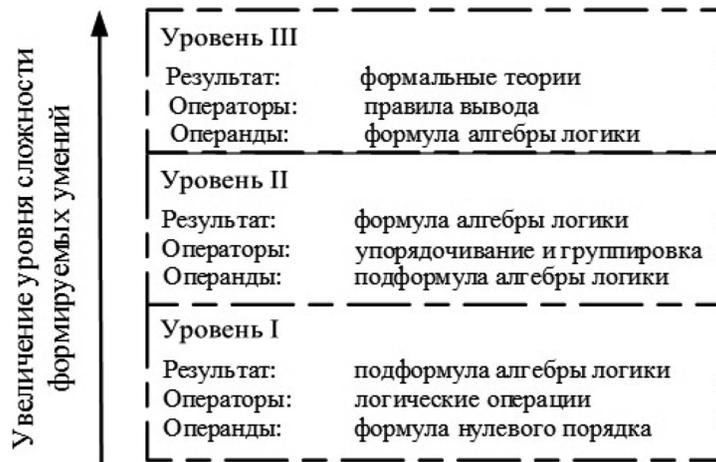


Рис. 5. Формирование умений возрастания уровня абстракции от построения формул нулевого порядка до формальных теорий

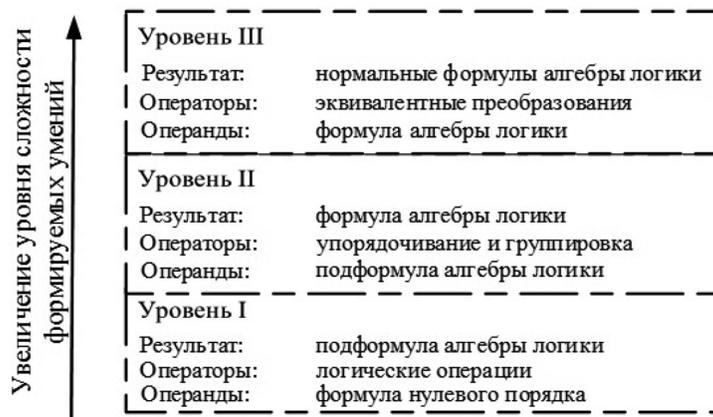


Рис. 6. Рост сложности формируемых умений от построения формул нулевого порядка до нормальных форм алгебры логики

чтобы сформировать у обучаемого способность самостоятельно объединять операнды и операторы одного уровня общности (абстракции), при этом возникает новый операнд (результат выполнения операции) более высокого (низкого) уровня абстракции. Таким образом, процесс формирования умений осуществляется на каждом шаге обучения по поводу изученного обучаемым очередного понятия предметной области дисциплины.

Необходимо отметить, что каждый шаг обучения распадается на три фазы: усвоение текущего понятия предметной области изучаемой дисциплины (знаниевый компонент), формирование умений оперировать с полученным знанием) и формирование требуемого

навыка (умение выполнить операцию над полученным знанием в экспертно заданное время). Навык при этом рассматривается как способ осуществления операций над понятиями, доведенный до автоматизма и обеспечивающий высокую производительность выполнения профессиональных задач. При этом после каждой фазы осуществляются соответствующие измерения, и фаза реализуется до достижения

нания обучаемым нормативных уровней знаний – K_{st} (от *англ. knowledge*), умений – A_{st} (от *англ. ability*) и навыков – S_{st} (от *англ. skill*), рис. 7.

Таким образом, модель предметной области от понятий выстраивается до дерева или совокупности деревьев термов дисциплины и операций. Далее можно переходить к формированию содержания курса, соответствующего разработанной модели предметной области. При этом термины образовательного контента представляют собой самостоятельные фрагменты, «кирпичики» знаний: «учебных объектов» [10]. Опыт разработки и использования целостных, объемных электронных обучающих курсов показывает, что значительные интеллектуальные, технические и временные затраты не окупаются на практике. Эти курсы не позволяют динамично их перестраивать под нужды текущего контингента обучаемых: объемные обучающие курсы быстро устаревают, они являются короткоживущими конструктами. В то же время «учебные объекты», накапливаясь в некотором репозитории образовательных ресурсов, могут быть многократно использованы при проектировании и создании новых электронных обучающих курсов. То есть учебные объекты представляют собой минимальные порции учебных материалов.

Выделение «учебных объектов» (структурирование учебного материала АЭОК) и соответственно формирование минимальной порции учебно-



Рис. 7. Шаг обучения в АЭОК

го материала может осуществляться через указание интенционала или экстенционала, входящих в него понятий. Таким образом, знание о внешней и внутренней гетерогенности, о феноменологической и структурной модели изучаемых понятий, соответственно, является необходимым и достаточным содержанием «учебного объекта». То есть для формирования минимальной порции учебного материала в нее необходимо включить материал, раскрывающий содержание и структуру понятия, определить существенные признаки рассматриваемого понятия и его местоположение в дереве понятий. Дополнительным содержанием «учебного объекта» является представление операций над понятиями-операндами. Таким образом, содержание минимальной порции учебных материалов регламентировано.

Форма его представления остаётся прерогативой автора и имеет в общем случае аудиовизуальный вид (текст, статические и динамические рисунки, графики, схемы, видеоролики, звуковое сопровождение и т.п.). Исходя из практического опыта разработки АЭОК для каждого термина предметной области рекомендуется разработать несколько редакций его изложения. Редакции учебного материала могут отличаться по степени детализации представляемого материала, количеству представленных примеров, по стилю изложения, способу восприятия учебного материала [10, 19–20]. В качестве основы для построения соответствующей редакции материала могут быть приняты: текущий уровень усвоения учебного материала, учебные предпочтения, индивидуальный учебный стиль и т.п. Множество редакций учебных материалов используется для формирования индивидуальных траекторий изучения дисциплины [21].

Предложенный в статье подход к построению модели

предметной области применен авторами при разработке адаптивного электронного обучающего курса по дисциплине «Дискретная математика» трудоемкостью 180 часов. В результате структурирования образовательного контента дисциплины было сформировано 32 термина. В качестве формы их представления были выбраны следующие способы изложения: индуктивный, дедуктивный и комбинированный. Индуктивный метод позволил определить понятия терминов в изложении материала от представления примеров объектов, входящих в данные понятия, к формированию содержания и структуры понятий и определению его существенных признаков. То есть форма изложения материала характеризуется как изложение от частного к общему, к обобщениям и выводам. Дедуктивный метод позволил определить понятия в изложении материала от представления их содержания, структуры и существенных признаков к объяснению материала конкретными примерами и фактами. То есть форма изложения материалов термина характеризуется как изложение от общего положения к частным, объясняющим смысл общего конкретными примерами, фактами. Комбинированный метод изложения материала представлен авторами как последовательное изложение одного вопроса за другим: содержание понятий, структура понятий и их место в дереве понятий предметной области, а также выделение существенных признаков понятий с закреплением конкретными примерами на каждой ступени изложения материала. Для каждого термина были определены контрольно-измерительные материалы, содержание которых также регламентируется содержанием понятий-операндов и понятий-операций. При этом были использованы тестовые задания, индивиду-

альные и групповые задания, опросы, дискуссии, задания с взаимопроверкой.

Экспериментальная проверка результативности внедрения в учебный процесс АЭОК, образовательный контент которого структурирован с применением предложенного подхода была осуществлена на 140 студентах первого курса направления подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии» Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Экспериментальная (ЭГ) и контрольная (КГ) группа составила по 70 человек.

Анализ применимости методов классического дисперсионного анализа показал, что графики квантилей эмпирического распределения контрольной и экспериментальной групп значительно отклоняются в хвостах от теоретически ожидаемого стандартного нормального распределения, что также было подтверждено формальными тестами на проверку нормальности распределения: тест Шапиро-Франкиса для КГ показал $W = 0.93143$, $p\text{-value} = 0.01669$, для ЭГ – $W = 0.94146$, $p\text{-value} = 0.03349$. Так как полученные значения $p\text{-value} < \text{уровня значимости } 0.05$, то гипотеза о нормальном распределении отвергается. В свою очередь однородность дисперсий подтверждается критерием Левене (так как условие нормальности нарушено, то критерий Левене брался относительно медианы распределения, а не среднего значения): для выборки в начале эксперимента $p\text{-value} = 0.9304$, в конце эксперимента $p\text{-value} = 0.8612$. Попытка нормализовать данные при помощи трансформации по Боксу-Коксу не привела к успешному результату, поэтому для оценки эффективности методики использовался ранговый дисперсионный анализ по Краскелу-Уоллису. Нулевая

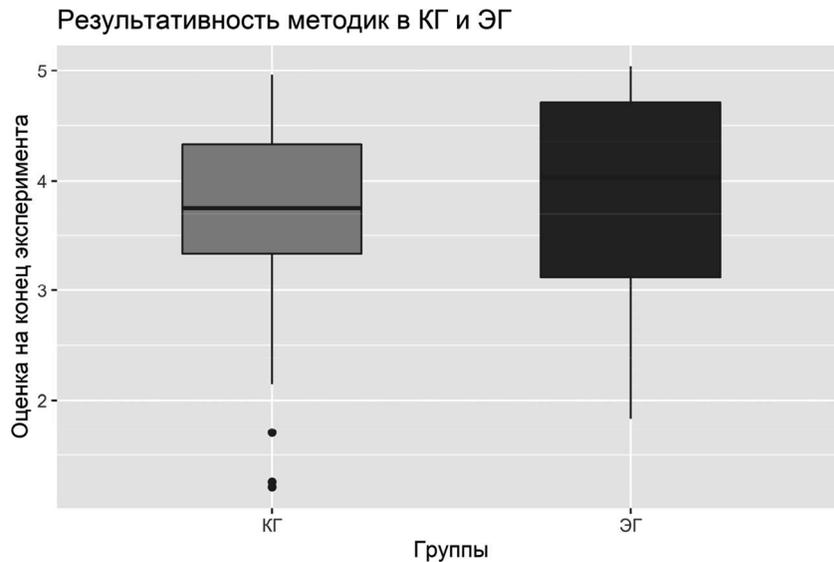


Рис. 8. Диаграмма размаха КГ и ЭГ

гипотеза, которая проверялась при помощи теста Краскела-Уоллиса, заключалась в том, что исследованные группы не различаются по результативности применяемых методик, то есть медианные значения полученных оценок по дисциплине «Дискретная математика» совершенно случайны. На начало эксперимента статистически значимых различий в группах не было, так как $Kruskal-Wallis\ chi-squared = 0.26005$, $p-value = 0.6101$, на конец эксперимента, значение $p-value \ll$ уровня значимости 0.05: $Kruskal-Wallis\ chi-squared = 127.57$, $p-value < 2.2e-16$, следовательно, сравниваемые группы значимо отличаются. На рис. 8 представлены диаграммы размахов контрольной и экспериментальной группы на момент окончания эксперимента, что подтверждает результаты теста Краскела-Уоллиса.

Таким образом, полученные результаты можно интерпретировать как подтверждающие результативность образовательного процесса с применением АЭОК, структурирование образовательного контента ко-

торого на основе построения модели предметной области.

Заключение

Представленная модель построения образовательного контента учебной дисциплины отличается от известных наличием логического упорядочения понятий на основе интеграции логических методов анализа понятий, логико-гносеологических методов соотношения объема и содержания понятий с методами теории графов и гиперграфов; определением учебных объектов дерева (древесного гиперграфа) термов, полученного на основе дерева понятий дисциплины; определением последовательности их изучения; включением в содержание учебного объекта феноменологической и структурной модели, позволяющей идентифицировать и раскрывать сущность каждого изучаемого понятия в рамках предметной области дисциплины.

Предложенный подход апробирован в учебном про-

цессе студентов направления 09.03.02 – «Информационные системы и технологии» Сибирского федерального университета. Обработка результатов и оценка эффективности внедрения в учебный процесс разработанного адаптивного электронного обучающего курса осуществлялась с применением рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса. Экспериментальные исследования показали, что введение в образовательную практику адаптивных электронных обучающих курсов позволяет повысить результативность образовательного процесса. Но при этом стоит отметить, что тиражирование предложенного подхода связано с высокой трудоемкостью логического упорядочения понятий дисциплины.

Адаптивные электронные обучающие курсы, построенные на основе предложенного авторами подхода, позволили производить структурирование предметной области дисциплины: двигаясь от понятий к термам – логически целостным микропорциям образовательного контента, позволяющим осуществлять адаптацию образовательной среды под индивидуальные характеристики обучающихся. Особенностью предложенного подхода к построению модели представления образовательного контента состоит в формализованном представлении учебного материала и возможности построения логически обоснованной последовательности его изучения. В перспективе предложенный подход может способствовать разработке персонализированной адаптивной обучающей экосистемы вуза в условиях цифровизации образования.

Литература

1. Уваров А.Ю., Гейбл Э., Дворецкая И.В. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования. М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2019. 343 с.
2. Григорьев С.Г., Гриншкун В.В., Львова О.В., Шунина Л.А. Использование средств информатизации для формирования толерантности при обучении в течение всей жизни // Вестник Моск. гор. пед. ун-та. Серия: Информатика и информатизация образования. 2016. № 1 (35). С. 8–19.
3. Дворянчиков Н.В., Калашникова Т.В., Печникова Л.С., Фролова Н.В. Использование электронного обучения в образовательном процессе: проблемы и перспективы // Психологическая наука и образование. 2016. № 21(2). С. 76–83.
4. Brusilovsky P. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2003. № 13. С. 156–169.
5. Растринин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. Рига: Зинатне, 1988. 160 с.
6. Esichaikul V., Lamnoi S., Bechter C. Student modelling in adaptive e-learning systems // Knowledge Management and E-Learning. 2011. № 3(3). С. 342–355.
7. Комлева Н.В., Вилявин Д.А. Цифровая платформа для создания персонализированных адаптивных онлайн курсов // Открытое образование. 2020. № 24 (2). С. 65–72. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-2-65-72.
8. Bronov S.A., Stepanova E.A., Katsunova A.S., Pichkovskaya S.Yu., Volkov M.V., Puh M.V., Sokolov P.V. The process of forming a tree of didactic units at the automated curriculum synthesis // Education Transformation Issues. 2019. № 3. С. 97–102.
9. Бурняшов Б.А. Персонализация как мировой тренд электронного обучения в учреждениях высшего образования // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1.
10. Голикова Е.А. Опыт построения структуры курса «Дискретная математика» с отслеживанием логических связей между ее компонентами // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 5.
11. Шершнева В.А., Вайнштейн Ю.В., Кочеткова Т.О. Адаптивная система обучения в электронной среде // Программные системы: теория и приложения. 2018. № 9 (4). С. 159–177.
12. Федосеев А.А. К вопросу об уменьшении объема порций учебного материала при электронном обучении // Информатика и её применение. 2016. № 10 (3). С. 105–110. DOI: 10.14357/19922264160314.
13. Fernandez J. The microlearning trend: Accommodating cultural and cognitive. Santa Rosa, CA. 2014. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: www.learningsolutionsmag.com/articles/1578/the-microlearning-trend-accommodating-cultural-and-cognitive-shifts.
14. Dolasinski M.J., Reynolds J. Microlearning: A New Learning Model // Journal of Hospitality & Tourism Research. 2020. № 44(3). С. 551–561. DOI: 10.1177/1096348020901579.
15. Войшвилло Е.К., Дегтярев М.Г. Логика: учебник для студентов вузов. М.: Владос, 2010. 527 с.
16. Тюхтин В.С. Отражение, системы, кибернетика. Теория отражения в свете кибернетики и системного подхода. М.: Наука, 1972. 256 с.
17. Асмус В.Ф. Избранные философские труды Т.1. М.: Издательство МГУ, 1967.
18. Куваев М.Р. Методика преподавания математики в вузе. Томск: Издательство Томского университета, 1990.
19. Кочеткова Т.О., Карнаухова О.А. Адаптивная образовательная стратегия обучения математике студентов в электронной среде // Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. 2018. № 2 (44). С. 50–56.
20. Слепченко Н.Н., Цибульский Г.М., Ямских Т.Н. От модели обучаемого к его адаптации в интеллектуальных обучающих системах // Информатизация образования и науки. 2018. № 1. С. 68–79.
21. Есин Р.В. Формирование математической компетентности бакалавров направления подготовки «Информатика и вычислительная техника» в электронной среде. Красноярск: СФУ, 2019. 232 с.

References

1. Uvarov A.YU., Geybl E., Dvoretzkaya I.V. Trudnosti i perspektivy tsifrovoy transformatsii obrazovaniya = Difficulties and prospects of digital transformation of education. Moscow: Higher School of Economics Publishing House; 2019. 343 p. (In Russ.)
2. Grigor'yev S.G., Grinshkun V.V., L'vova O.V., Shunina L.A. The use of informatization tools for the formation of tolerance in learning throughout life. Vestnik Mosk. gor. ped. un-ta. Seriya: Informatika i informatizatsiya obrazovaniya = Vestnik Mosk. mountains. ped. un-that. Series: Informatics and informatization of education. 2016; 1(35): 8–19. (In Russ.)
3. Dvoryanchikov N.V., Kalashnikova T.V., Pechnikova L.S., Frolova N.V. The use of e-learning in the educational process: problems and prospects. Psikhologicheskaya nauka i obrazovaniye = Psychological science and education. 2016; 21(2): 76–83. (In Russ.)
4. Brusilovsky P. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems. International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2003; 13: 156-169.
5. Rastrigin L.A., Erenshteyn M.KH. Adaptivnoye obucheniye s model'yu obuchayemogo = Adaptive learning with a learner model. Riga: Zinatne; 1988. 160 p.
6. Esichaikul V., Lamnoi S., Bechter C. Student modelling in adaptive e-learning systems. Knowledge Management and E-Learning. 2011; 3(3): 342-355.

7. Komleva N.V., Vilyavin D.A. Digital platform for creating personalized adaptive online courses. *Otkrytoye obrazovaniye = Open Education*. 2020; 24(2): 65-72. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-2-65-72. (In Russ.)

8. Bronov S.A., Stepanova E.A., Katsunova A.S., Pichkovskaya S.Yu, Volkov M.V., Puh M.V, Sokolov P.V. The process of forming a tree of didactic units at the automated curriculum 'synthesis. *Education Transformation Issues = Education Transformation Issues*. 2019; 3: 97-102.

9. Burnyashov B.A. Personalization as a global trend in e-learning in higher education institutions. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2017; 1. (In Russ.)

10. Golikova Ye.A. Experience of constructing the structure of the course "Discrete mathematics" with tracing logical connections between its components. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Software systems: theory and applications*. 2018; 5. (In Russ.)

11. Shershneva V.A., Vaynshteyn Yr.V., Kochetkova T.O. Adaptive learning system in an electronic environment. *Programmnyye sistemy: teoriya i prilozheniya = Software systems: theory and applications*. 2018; 9(4): 159-177. (In Russ.)

12. Fedoseyev A.A. On the issue of reducing the volume of portions of educational material in e-learning. *Informatika i yeyo primeneniye = Informatics and its application*. 2016; 10(3): 105-110. DOI: 10.14357/19922264160314. (In Russ.)

13. Fernandez J. The microlearning trend: Accommodating cultural and cognitive. Santa Rosa, CA. 2014. [Internet]. Available from: www.learningsolutionsmag.com/articles/1578/themicrolearning-trend-accommodating-cultural-andcognitive-shifts.

14. Dolasinski M.J., Reynolds J. Microlearning: A New Learning Model. *Journal of Hospitality &*

Tourism Research. 2020; 44(3): 551–561. DOI: 10.1177/1096348020901579.

15. Voyshvillo Ye.K., Degtyarev M.G. *Logika: uchebnik dlya studentov vuzov = Logic: a textbook for university students*. Moscow: Vlados; 2010. 527 p. (In Russ.)

16. Tyukhtin V.S. *Otrazheniye, sistemy, kibernetika. Teoriya otrazheniya v svete kibernetiki i sistemnogo podkhoda = Reflection, systems, cybernetics. Reflection theory in the light of cybernetics and systems approach*. Moscow: Nauka; 1972. 256 p. (In Russ.)

17. Asmus V.F. *Izbrannyye filosofskiye Trudy = Selected philosophical works Vol.1*. Moscow: Moscow State University Publishing House; 1967. (In Russ.)

18. Kuvayev M.R. *Metodika prepodavaniya matematiki v vuze = Methods of teaching mathematics at the university*. Tomsk: Tomsk University Press; 1990. (In Russ.)

19. Kochetkova T.O., Karnaukhova O.A. Adaptive educational strategy for teaching mathematics to students in an electronic environment. *Vestnik KGPU im. V.P. Astafyeva = Vestnik KSPU im. V.P. Astafieva*. 2018; 2(44): 50–56. (In Russ.)

20. Slepchenko N.N., Tsibul'skiy G.M., Yamskikh T.N. From the learner's model to its adaptation in intelligent learning systems. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki = Informatization of education and science*. 2018; 1: 68–79. (In Russ.)

21. Yesin R.V. *Formirovaniye matematicheskoy kompetentnosti bakalavrov napravleniya podgotovki «Informatika i vychislitel'naya tekhnika» v elektronnoy srede = Formation of mathematical competence of bachelors of the direction of training "Informatics and Computer Engineering" in the electronic environment*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2019. 232 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Юлия Владимировна Вайнштейн

К.т.н., доцент, доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности Института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
Эл.почта: yweinstein@sfu-kras.ru

Роман Витальевич Есин

К.п.н., доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности Института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия
Эл.почта: surgeon14@mail.ru

Геннадий Михайлович Цибульский

Д.т.н., профессор, зав. Кафедры системы искусственного интеллекта Института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия
Эл.почта: gtsybulsky@sfu-kras.ru

Information about the authors

Julia V. Vainshtein

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Security School Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: yweinstein@sfu-kras.ru

Roman V. Esin

Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Security School Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: surgeon14@mail.ru

Gennady M. Tsibulsky

Dr. Sci. (Engineering), Professor of Department of Artificial Intelligence Systems School Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: gtsybulsky@sfu-kras.ru