

УДК 519.68, 681.3.06

## **Вопросы реализации адаптивного генерирования электронных учебных курсов в интеллектуальных обучающих системах**

*Волянская Т.А. (Институт систем информатики СО РАН)*

Статья посвящена вопросам адаптации в интеллектуальных обучающих системах, а именно методам и средствам реализации адаптивного генерирования электронных учебных курсов. Рассматриваются интеллектуальные системы обучения с адаптивным генерированием электронных учебных курсов, предоставляющих индивидуализированный учебный материал для каждого учащегося и динамически выбирающих оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения, а также используемые в них методы и средства адаптации.

***Ключевые слова:** электронное обучение, интеллектуальные системы обучения, адаптивные обучающие системы, обучающие гипермедиа-системы, адаптивное генерирование электронных учебных курсов, адаптивная гипермедиа, адаптивное представление, адаптивная навигация, графы планов обучения, графы путей концептов, графы учебной деятельности, концептуальные карты, онтологии, байесовские сети.*

### **1. Введение**

В последнее время электронное обучение (E-learning), под которым понимается система обучения при помощи информационных и электронных технологий, также называемое онлайн-обучением (Online learning), или цифровым образованием (Digital learning), становится важной частью образовательной системы.

Электронное обучение в наше время активно применяется в школах, вузах, при дополнительном образовании. Использование цифровых технологий для улучшения процесса преподавания и обучения предоставляет новые возможности для педагогов и учащихся и охватывает широкий спектр инструментов и методов, включая онлайн-курсы, виртуальные классы, интерактивные учебные материалы, электронные учебные курсы и многое другое. Всё более популярным становится такой инструмент обучения, как массовые открытые онлайн-курсы.

Мир переживает цифровую трансформацию образования, помимо широкого распространения цифровых технологий, интернета и смартфонов, виртуальной реальности и искусственного интеллекта, свою роль здесь сыграла пандемия коронавируса и связанный с ней переход на дистанционное обучение. Смешанное, гибридное или полностью дистанционное обучение стало теперь для многих привычным [3].

Преимуществом традиционной формы образования является возможность преподавателя адаптировать процесс обучения к учащимся, принимая во внимания их индивидуальные особенности. Один из основополагающих принципов дидактики – индивидуализация обучения, от реализации которого во многом зависит эффективность обучения. Под индивидуализацией обучения понимают организацию учебного процесса с учетом психолого-педагогических характеристики учащихся, таких как особенности мышления, памяти и внимания, уровень развития интеллектуальных способностей и общеучебных умений и навыков, уровень усвоения программного материала [1].

Одна из ключевых тенденций цифрового образования – персонализация обучения. Персонализация обучения позволяет создавать адаптивные учебные программы, которые могут быть настроены под индивидуальные потребности и интересы каждого учащегося, предоставляя персонализированные рекомендации и учебные материалы, соответствующие уровню знаний и интересам учащихся. Применение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для создания персонализированных адаптивных учебных курсов и рекомендаций позволяет значительно повысить эффективность обучения и мотивацию учащихся. Цифровая образовательная среда ставит перед дидактикой новые задачи внедрения современных технологий, методов и средств электронного обучения, чтобы сделать цифровое образование более персонализированным [5,64].

Интеллектуальные обучающие системы, активно развивающиеся в последнее время, являются одним из эффективных инструментов электронного обучения, в связи с этим, направления исследований методов и средств персонализации и адаптации в системах обучения как никогда актуальны. Адаптивные гипермедиа-системы значительно увеличивают возможности интеллектуальных обучающих систем, их целью является персонализация гипермедиа-системы, ее настройка на индивидуальные особенности пользователей [7,8,11,13,21,23,32,37,38,39,41,64,72-75].

В крупных информационных гипермедиа-системах, характеризующимся достаточно обширным гиперпространством и предусматривающих работу с множеством пользователей с различными целями, уровнем знаний и опытом, становится целесообразным применение методов адаптации. В связи с этим, технологии адаптивной гипермедиа используются не

только в системах электронного обучения, а также, например, в информационно-поисковых системах, информационно-справочных системах, электронных библиотеках и архивах, а также открытых адаптивных виртуальных музеях [9,10,12,14,18-20,22,24,69-71].

В настоящее время в связи с высоким темпом развития образовательной системы, в результате активного роста электронных информационно-образовательных ресурсов и сетевых дистанционных образовательных технологий возрастает необходимость разработки и реализации адаптивных электронных учебных курсов, предоставляющих индивидуализированный учебный материал для каждого учащегося и динамически выбирающих оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения. В связи с тем, что одной из главных причин развития и широкого распространения электронного обучения является именно рост знаний учащихся, более важными становятся вопросы адаптации электронных учебных курсов, касающиеся адаптации и упорядочения учебных материалов, чем вопросы адаптивного представления, типичные для адаптивных обучающих гипермедиа-систем [7,8,11,64].

Более тридцати лет назад в системах электронного обучения уже начала применяться простейшая адаптация, но до сих пор эталонная модель генерирования электронных учебных курсов не была определена. В настоящее время в научной литературе встречается множество различных терминов, употребляемых в значении генерирования электронного учебного курса (courseware generation): упорядочение учебного курса (courseware sequencing), упорядочение плана обучения (curriculum sequencing), генерирование маршрута (trail generation), планирование учебного курса (course planning), учебное моделирование (instructional modelling), упорядочение внутри учебных модулей (sequencing within learning modules) и учебное планирование (instructional planning) [64,97].

Также встречаются такие термины и понятия, как динамическое, адаптивное, персонализированное и интеллектуальное генерирование электронного учебного курса (dynamic, adaptive, personalized and intelligent courseware generation), используемые в значении генерирования электронного учебного курса, учитывающего и отвечающего потребностям учащегося [47].

В современных интеллектуальных системах обучения применяются следующие методы адаптации: упорядочение контента (content sequencing), интеллектуальный анализ решений учащихся (intelligent analysis of students' solutions), интерактивная поддержка решения задач (interactive problem solving support), поддержка решения задач на основе примеров (example-based support for problem solving) и поддержка совместной работы (collaboration support). Методы адаптации, применяемые в современных адаптивных обучающих гипермедиа-

системах, это адаптивное представление (adaptive presentation) и адаптивная навигационная поддержка (adaptive navigation support) [7,11,13,37,38,64].

Данная статья посвящена исследованию методов и средств реализации адаптивности в интеллектуальных системах обучения, а именно вопросам адаптивного генерирования электронных учебных курсов [7,8,11].

В первом разделе статьи рассматриваются вопросы, относящиеся к генерированию адаптивных электронных учебных курсов, предоставляющих индивидуализированный учебный материал для каждого учащегося и динамически выбирающих оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения. Приводятся следующие методы, применяемые для реализации адаптации электронных учебных курсов: графы путей концептов, графы планов обучения, графы учебной деятельности, концептуальные карты, онтологии, байесовские сети.

Второй раздел статьи посвящен обзору интеллектуальных систем обучения, автоматически или динамически генерирующих адаптивные электронные учебные курсы, с акцентом на адаптацию контента, а не интерфейса. Рассматриваются вопросы формализации предметной области и модели обучаемого в этих системах. Описываются процесс и этапы генерирования адаптивных электронных учебных курсов в данных системах: генерирование, выбор и упорядочение, представление элементов учебного курса. Рассматриваются функции адаптации и тестирования знаний учащихся [64].

## **2. Методы генерирования адаптивных электронных учебных курсов**

Одним из наиболее популярных и распространенных методов адаптации в интеллектуальных системах обучения является генерирование электронных учебных курсов. Электронный учебный курс состоит модулей двух типов: обучающих модулей и модулей для проверки знаний. Под генерированием электронного учебного курса понимается процесс выбора модулей курса и их упорядочения подходящим образом для определенной группы или отдельных учащихся. Смысл адаптивного генерирования электронного учебного курса заключается в том, чтобы генерировать индивидуализированный учебный материал для конкретного учащегося и динамически выбирать оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения. Под оптимальным методом обучения понимается тот, который приведет учащегося к реализации его цели обучения. Самая распространенная цель обучения – это приобретение необходимых знаний в кратчайший срок. Это одно из наиболее

перспективных направлений научных исследований в области электронного обучения [8,41,67,82].

Процесс генерирования электронных учебных курсов в интеллектуальных системах обучения включает в себя два основных этапа: планирование учебного материала (контента) (content planning) и планирование представления учебного материала (контента) (content delivery planning) [51].

Планирование учебного материала включает в себя следующие шаги: генерирование, упорядочение и выбор элементов контента, основываясь на текущем знании учащегося, и наблюдении за выполнением плана контента для определения того, когда следует перепланировать (адаптировать уже существующий план) или генерировать новый план.

Планирование представления учебного материала, также называемое стратегией обучения, относится к выбору действий и взаимодействий, которые помогут учащемуся достичь целей обучения. Самые распространенные стратегии обучения, это обучение на примере (learning by example), обучение с помощью чтения текстов (learning by reading texts), обучение на собственном опыте (learning by doing) и моделирование (simulation) [106].

В современных интеллектуальных системах обучения используются различные подходы к генерированию электронных учебных курсов. Большинство систем генерируют электронные учебные курсы, используя только один метод обучения. Некоторые системы способны изменять только порядок вопросов или задач, другие – располагать по порядку уроки, но более прогрессивные системы могут генерировать учебный курс, используя разнообразные методы обучения.

Существует три подхода к генерированию электронных учебных курсов: статическое, адаптивное и динамическое генерирование. Традиционные статические обучающие системы адаптируют процесс обучения, используя подходящие педагогические стратегии для представления знаний предметной области. Модель учебного курса в большинстве таких систем – статический массив или дерево, при этом все элементы учебного курса создаются преподавателем заранее, а курс генерируется сразу же, что снижает его адаптивность [88].

Идея адаптивного генерирования учебного курса заключается в создании специализированного содержания до того, как учащиеся начнут его использовать. В случае динамического генерирования учебного курса система отслеживает прогресс обучаемого, и в случае несоответствия его успеваемости ожидаемой, учебный материал динамически регенерируется. При этом подходе принимаются во внимание текущие знания, цели и период обучения учащихся, и соответственно изменяется уровень сложности и происходит адаптация к прогрессу (успеваемости) учащихся [41].

Во всех системах обучения, в которых применяются методы генерирования электронных учебных курсов, присутствуют т.н. элементы учебного курса: элементы знаний предметной области, концепты, фрагменты знаний, темы, учебные модули, объекты знаний (domain knowledge elements, concepts, fragments of knowledge, themes, learning objects, knowledge objects) [110].

В настоящее время в интеллектуальных системах обучения применяются следующие методы адаптации учебных курсов: графы путей концептов, графы планов обучения, графы учебной деятельности, концептуальные карты, онтологии, Байесовские сети [34].

## **2.1. Графы путей концептов, планов обучения и учебной деятельности**

**Граф путей концептов (Concept Path Graph).** Это ориентированный ациклический граф, который представляет собой множество правил упорядочения, определяющих последовательность концептов, снабженных набором характеристик, которые должен приобрести учащийся. Под концептом понимается элемент знаний предметной области, для каждого концепта в графе создается вершина, которая его представляет. Для определения структуры пути концептов на основе модели предметной области и модели пользователя используются учебные цели. Таким образом, граф путей концептов представляет концептуальную структуру онтологии предметной области, соответствующей рассматриваемой цели обучения. Концепты, содержащиеся в графе путей концептов, выбираются согласно взаимосвязям между иерархией учебных целей и онтологией предметной области. Структура графа полностью копирует структуру онтологии предметной области [44,68,92].

**Граф планов обучения (Learning Path Graph).** Это ориентированный ациклический граф, который определяет все возможные планы обучения (последовательность учебных материалов), соответствующие данной цели обучения. Граф планов обучения описывает структуру предметной области и связанные с ней учебные цели, ставя в соответствие учебную цель и все возможные для ее достижения планы обучения. Основываясь на характеристиках учащегося в модели обучаемого, из этого графа, содержащего все возможные планы обучения, выбирается индивидуальный план обучения. Модель обучаемого содержит информацию об уровне знаний учащегося, а также характеристиках, таких как стиль обучения и предпочтения. Проектирование модели предметной области включает два этапа: проектирование иерархии задач (учебных целей) и составление набора понятий (концептов) [67,68].

Чтобы построить граф планов обучения, для каждого концепта из графа путей концептов из медиа пространства выбираются связанные с ним учебные ресурсы на основе связи между онтологией предметной области и моделью описания ресурсов. Медиа пространство содержит описания характеристик учебных материалов. Каждый узел в графе путей концептов далее замещается связанным с ним подмножеством учебных материалов, извлеченным из медиа пространства. Структура множества учебных материалов копирует непосредственно структуру медиа пространства. Конечный граф является графом планов обучения. При условии, что медиа пространство не содержит циклических ссылок между учебными материалами, граф планов обучения становится простым бесконтурным орграфом. Хотя это предположение не влияет прямым образом ни на проектирование системы, ни на методологию упорядочения, необходимо избегать бесконечных планов обучения.

На следующем этапе из графа, содержащего все доступные планы обучения, выбирается персонализированный план обучения, основываясь на характеристиках модели обучаемого. В итоге получается дополнительный уровень, называемый уровнем адаптации обучаемого, который используется для выбора персонализированного плана обучения [44,46].

**Граф учебной деятельности (Learning Activity Graph).** Это ориентированный граф, который используется для организации учебных ресурсов, связанных с учебной задачей. Общая учебная задача может быть представлена в виде иерархического графа учебных действий, где вершины графа могут быть либо простым учебным действием, либо подграфом учебных действий, включающим несколько связанных учебных ресурсов для учебной подзадачи. В данном случае простым учебным действием считается учебный ресурс, содержащий учебный материал, который должен быть представлен учащемуся обучающей системой.

Граф учебной деятельности определяется следующим образом:  $G = (V, E, v_i, v_0)$ , где  $V$  – множество вершин, каждая из которых является учебным ресурсом, который может посетить учащийся, с пред- и пост- условиями для определения следующей вершины;  $E$  – множество дуг, каждая из которых соединяет некоторые две вершины из  $V$ ;  $v_i$  – начальная вершина, а  $v_0$  – конечная вершина графа,  $v_i, v_0 \in V$ . Структура вершины определяется следующим образом:

preCondition	nodeType	learningResource	postCondition	startNode	endNode
--------------	----------	------------------	---------------	-----------	---------

В этой структуре `nodeType` обозначает тип вершины, т.е. простое действие или группу действий, `learningResource` – учебный ресурс, соответствующий действию, `preCondition` и `postCondition` обозначают соответственно пред- и пост- условия, `startNode` и `endNode` обозначают соответственно начальную и конечную вершины в (под)графе учебных действий. Таким образом, дуга  $e \in E$  является тройкой  $(v_s, v_c, C)$ , где  $v_s$  и  $v_c$  – начальная и

конечная вершины дуги,  $v_s, v_c \in V$ ; а *preCondition* или *postCondition* *C* – логические выражения. Если условие *C* оценивается как истинное, будет выбрано соответствующее упорядочивание. При этом, если таких дуг существует несколько, одна из них выбирается случайным образом [111].

## 2.2. Концептуальные карты

Концептуальная карта (*Concept Map*) – также концепт-карта, понятийная карта, диаграмма концептов, представляет собой графический инструмент для структурирования и представления знаний предметной области.

Концептуальная карта состоит из концептов (понятий), обычно изображаемых в фигурах определенного типа (кругов или прямоугольников), и отношений между понятиями, изображаемых соединительными линиями, связывающими два понятия. Слова на этих линиях, называемые связующими словами или связующими фразами, определяют связь между этими двумя понятиями. Концептуальные карты помогают показать, как человек видит взаимосвязи между понятиями, идеями, объектами, явлениями и др. [84-86].

Математически концептуальная карта представляет собой ориентированный помеченный граф, вершинам которого соответствуют концепты (понятия), дугам – отношения (связи) между понятиями, при этом метками на дугах служат связующие фразы.

**Определение.** Концепт, согласно определению, данному Джозефом Новаком (*Joseph Novak*), основоположником концептуальных карт, есть «ментальный образ предмета, объекта или абстрактной идеи». Таким образом, концепт определяется как воспринимаемая закономерность или модель объектов или явлений, или данные об объектах или явлениях, обозначенный меткой [85].

Иначе говоря, концепты – это короткие формулировки, чаще состоящие из одного слова, связанные с понятиями предметной области, описывающими исследуемую ситуацию, или закономерностями в объектах, событиях и ситуациях.

На соединительных линиях, связывающих два концепта (понятия), указывают связующие слова или фразы, определяющие и разъясняющие тип связи между понятиями (иногда используются символы: +, -, % и др.). Эти слова-отношения чаще всего являются глаголами.

Каждые два концепта со связующим словом-отношением образуют короткое предложение, называемое пропозицией (*proposition*). Пропозиция – это осмысленное высказывание, являющееся семантической единицей или смысловой единицей. В некоторых случаях пропозиция может содержать три и более концепта, но, как правило, такой ситуации



стараятся избегать, поскольку утверждения могут стать размытыми и неопределенными [81].

**Основные характеристики.** Основная идея концептуальных карт состоит в том, что взаимосвязанность является важнейшим свойством знаний, и что «понимание» знаний может быть представлено посредством широкого набора взаимосвязей между важными концептами предметной области.

*Семантическая структура.* Два (или более) концепта, объединенные посредством связующей фразы в осмысленное высказывание, составляют «пропозицию» – смысловую (или семантическую) единицу. Согласно когнитивной теории Дэвида Озубела (David Ausubel), концепты (понятия) и пропозиции (высказывания), будучи наименьшими единицами знаний, служат основой для создания новых знаний в предметной области. Можно провести аналогию с тем, что концепты подобны атомам, а пропозиции – молекулам. Концептуальные карты с помощью связующих фраз наглядно отображают наиболее важные взаимосвязи между набором концептов, формируя пропозиции. По сути, концептуальная карта визуально передает набор утверждений на заданную тему. При составлении концептуальной карты нужно следить за тем, чтобы каждые два понятия вместе со связывающими их фразами образовывали смысловую единицу, утверждение, короткое предложение [31].

*Иерархическая структура.* В любой области знаний существует иерархия понятий, где наиболее общие понятия находятся на «вершине» иерархии, а более конкретные расположены иерархически ниже. Одна из ключевых характеристик концептуальных карт – иерархичность ее структуры: наиболее общие, содержательные и всеобъемлющие концепты находятся на верхних уровнях иерархии, а менее общие, более конкретные и специфичные концепты расположены на нижних уровнях. Соответственно, иерархические концептуальные карты читаются сверху вниз. Тем не менее, структура концептуальной карты не ограничивается этой структурой, она может принимать и свободную форму – начиная от центра и распространяясь наружу.

*Ключевой вопрос.* Концептуальные карты создаются на основе ключевого вопроса – формулировки, которая задает и четко определяет основную тему или проблему, которую карта предназначена решить. Ключевой вопрос помещается в самом верху концептуальной карты и служит отправной точкой для дальнейших ответвлений. Хороший ключевой вопрос может привести к созданию гораздо более подробной концептуальной карты.

*Перекрестные ссылки.* Другой важной характеристикой концептуальных карт является включение перекрестных ссылок (связей). Поскольку концептуальные карты содержат

концепты из различных областей знаний, отношения между этими областями отображаются с помощью перекрестных ссылок. Это связи или отношения между концептами из разных сегментов или областей концептуальной карты. Такие перекрестные ссылки помогают понять, как концепт из одной области знаний, представленной на карте, связан с концептом из другой области, показанной на карте, и, таким образом, иллюстрирует связь этих частей друг с другом.

*Конкретные примеры.* Последняя особенность, которая может быть присуща концептуальным картам, это конкретные примеры объектов или явлений, помогающих разъяснить значение данного концепта. Обычно они не заключены в овалы или прямоугольники, поскольку являются конкретными объектами или явлениями и не являются концептами.

**История создания.** Концептуальные карты впервые были предложены в 1960-1970-х годах американским педагогом и ученым-исследователем из Корнельского университета (США) Джозефом Новаком (Joseph D. Novak), который занимался изучением детского мышления и формированием первых научных понятий. Для изучения того, как дети понимают концепции фундаментальных наук, были проведены и обработаны интервью со многими детьми. Необходимость найти лучшее решение для представления концептуального понимания детей привела к разработке концептуальных карт. С тех пор они находят применение не только в сфере образования и научных исследований, но также и в бизнесе [84-86].

Исследования Джозефа Новака основывались на идеях американского когнитивного психолога и педагога Дэвида Озубела (David Ausubel), занимавшегося вопросами обучения студентов в колледжах и формированием понятийного мышления. В начале 1960-х годов им была разработана когнитивная теория ассимиляции, впоследствии широко применяемая в области осмысленного вербального обучения. В основе этой теории лежит тот факт, что новые знания можно эффективно усваивать, связывая их с тем, что уже известно, при этом концептуальные карты рассматриваются как методологический инструмент этой теории [30].

Согласно теории Дэвида Озубела, обучение людей, независимо от их возраста, зависит от их предыдущей когнитивной структуры, которая связана с новой информацией. Под когнитивной структурой понимаются ментальные репрезентации (набор идей и концепций), которые человек строит о фрагменте реальности. Иначе говоря, это совокупность всех полученных знаний, а также взаимосвязей между фактами, понятиями и принципами, из которых состоят эти знания. По мнению Дэвида Озубела, обучение заключается в том, чтобы

привнести что-то новое в когнитивную структуру и связать это с уже имеющимися знаниями, находящимися в этой структуре [31].

Современную реализацию концептуальных карт связывают с методиками британского психолога Тони Бьюзена (Tony Buzan), изобретателем интеллект-карт (Mind Maps) (также ментальные карты, диаграммы связей, карты разума) – популярной техники визуального мышления. Суть этой методики заключается в визуальном представлении информации, отражающем системные связи между целым и его частями. Такая диаграмма строится вокруг центральной идеи, концепции, темы или проблемы, от которой отходят «ветви» со связанными идеями. С помощью интеллект-карт можно структурировать любой материал – от простого списка литературы до учебного плана. В современных подходах к обучению интеллект-карты заслуженно занимают важное место, они помогают лучше воспринимать сложные концепции и надежнее запоминать изученное, делают обучение осмысленным, а не механическим. Также интеллект-карты являются эффективным инструментом планирования, помогают обрабатывать большие объемы информации, обеспечить всесторонний аналитический обзор по заданной теме, эффективно генерировать новые идеи, найти неочевидные решения и отказаться от непродуктивных вариантов [6,17,42].

В России примерно в это же время похожие идеи получили выражение в теоретических работах по системологии Г.П. Мельникова и П.Г. Кузнецова и широко использовались Г.П. Щедровицким и его последователями в организационно-деятельностных играх.

**Области применения.** Концептуальные карты успешно применяются в области образования как в качестве инструмента обучения, так и инструмента оценки успеваемости учащихся. Они способствуют осмысленному обучению, помогая создавать связи между тем, что уже знают учащиеся, и новыми знаниями, которые они получают. Концептуальные карты используются при решении множества задач обучения: структурирования материала для учебных курсов или программ, проведения эффективного мозгового штурма на определенную тему, проверки и оценки знаний учащихся.

Применение концептуальных карт в учебном процессе позволяет представить сложные понятия легко усваиваемым способом: структурировать и визуализировать сложные понятия, тем самым помогая учащимся увидеть связи между различными понятиями и идеями в предметной области. Использование концептуальных карт улучшает усвоение информации и запоминание материала, так как структурированное представление информации облегчает процесс объединения и ассоциации данных. Создание концептуальных карт учащимися во время изучения новой темы способствует стимуляции ассоциативного мышления, более глубокому пониманию материала, выявлению пробелов в знаниях и развитию

познавательных навыков. Также, концептуальные карты могут быть использованы для оценки знаний учащихся: проверки понимания материала и того, где их знания нуждаются в улучшении, выявления индивидуальных особенностей усвоения информации. Таким образом, использование концептуальных карт в образовании способствует улучшению качества обучения, развитию познавательных навыков и формированию глубокого понимания предмета, делая их ценным инструментом для педагогов и учащихся.

Помимо широкого распространения в сфере образования, концептуальные карты также часто используются в прикладных технических областях: инженерии, программировании, проект-менеджменте, бизнесе. Формализованные концептуальные карты используются при разработке программного обеспечения, при моделировании объектно-ролевых моделей, например, в формализме языка UML (Unified Modeling Language), а также как первый шаг при построении онтологий компьютерных систем. Концептуальные карты используются для графического представления учебных курсов, основанных на знаниях предметной области, как, например, в контекстно-зависимом планировщике путей обучения [27,46].

**Концептуальное картирование.** Метод визуализации взаимосвязей между различными понятиями, идеями, представлениями называется концептуальным картированием (Concept Mapping). Составление концептуальных карт позволяет глубоко рассмотреть предметную область, обнаружить неочевидные связи и генерировать нестандартные решения [2].

Стандартная процедура построения концептуальной карты включает в себя следующие этапы: определение центральной темы или основного вопроса; выявление и перечисление наиболее важных концептов, относящихся к данной теме; иерархическое упорядочивание концептов сверху вниз от самых абстрактных и общих до самых конкретных и специфических; а также добавление и маркировка связующих фраз. После создания предварительной концептуальной карты определяются и добавляются перекрестные ссылки, а затем выполняется проверка карты на полноту и корректность. Процесс расширения концептуальной карты может быть бесконечным, при необходимости можно добавлять новые концепты и взаимосвязи [43].

### 2.3. Онтологии

Онтология – одна из моделей представления знаний предметной области. Под онтологией предметной области традиционно понимается семантическое описание этой предметной области. Термины «онтологическое описание», «онтологическая модель», «онтология предметной области» используются как синонимы. Онтология описывает основные концепции (положения) предметной области и определяет отношения между ними [62,63].

В настоящее время для семантического моделирования преимущественно используется объектная онтология, описывающая текущее состояние некоторой предметной области как множества объектов, связанных друг с другом отношениями. Онтология вместе с набором индивидуальных экземпляров образует базу знаний (Knowledge Base).

Обычно онтологию представляют в виде ориентированного ациклического графа, вершинами которого являются объекты онтологии, а дугами – отношения между ними (свойства). Часто такую структуру из объектов и значений их свойств, построенную для определенной предметной области, называют графом знаний (Knowledge Graph) [4].

**Определение онтологии.** В настоящее время все еще не существует единого общепризнанного определения понятия «онтология», в научной литературе встречается множество различных определений, многие из которых противоречат друг другу.

Среди исследователей, занимающихся проблемами компьютерной лингвистики, наиболее традиционным (классическим) считается определение, данное в 1993 году Томом Грубером (Gruber T.A), американским учёным в области информатики, проделавшим фундаментальную работу по разработке онтологий. Онтология – это явная (формальная) спецификация концептуализации, которая имеет место в некотором контексте предметной области. Концептуализация представляет собой описание концепций (понятий), а также всю информацию, имеющую отношение к этим понятиям (свойства, отношения, ограничения, аксиомы, утверждения), необходимую для описания и решения задач в избранной предметной области. Формально онтология состоит из понятий (терминов, организованных в таксономию), их описаний и правил вывода [59-61,99].

Другое, часто используемое определение онтологии в информатике, представленное в Википедии, формулируется следующим образом: онтология предметной области – это попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы (модели). Обычно такая модель состоит из иерархической структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, взаимосвязи и правила (ограничения), принятые в этой области. Концептуальная модель – система концептов (понятий) и отношений (связей) предметной области. Концепт – понятие, отражающее некоторый конкретный или абстрактный объект реального мира [25,55].

И еще одно из часто встречающихся в научной литературе определений онтологии: онтология – формальное явное описание понятий (или классов) в рассматриваемой предметной области, свойств (или слотов, ролей) каждого понятия, описывающих различные свойства и атрибуты понятия, и ограничений (или факетов, ограничений ролей), наложенных на слоты [15].

**Модель онтологии.** Классическая модель онтологии  $O$  формально определяется как упорядоченная тройка вида:  $O = \langle X, R, F \rangle$ , где  $X$  – конечное множество концептов (понятий, терминов) предметной области, которую определяет онтология  $O$ ;  $R$  – конечное множество отношений между концептами (понятиями, терминами) заданной предметной области;  $F$  – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии  $O$ . На множества  $X$ ,  $R$ ,  $F$  накладываются следующие ограничения:  $X$  – непустое конечное множество ( $X \neq \emptyset$ ), а  $R$  и  $F$  – конечные множества.

**Свойства онтологии.** Множества  $R$  и  $F$  могут быть пустыми, что соответствует частным видам онтологии:

1. При  $R = \emptyset$  и  $F = \emptyset$  онтология трансформируется в простой словарь, или набор терминов, используемый в некоторой предметной области, без объяснений значений данных терминов. К примеру, простым словарем является любой орфографический словарь. Поскольку в таких простейших онтологиях явно не определяется смысл терминов, их использование ограничено. Представление онтологии в виде простого словаря достаточно эффективно лишь в тех случаях, когда определенные в онтологии термины принадлежат очень узкой области знаний, и их смысл уже заранее хорошо согласован в рамках определенного сообщества, например, индексы поисковых систем в сети интернет.

2. При  $R = \emptyset$  и  $F \neq \emptyset$  онтология преобразуется в глоссарий, или набор терминов с толкованием, в этом случае каждому элементу множества терминов из  $X$  ставится в соответствие функция (аксиома) и интерпретация (одна или несколько). К примеру, глоссарием является толковый словарь, позволяющий интерпретировать, уточнять и объяснять значения одних терминов на основе других, имеющихся в словаре.

3. Если  $R \neq \emptyset$  и  $F = \emptyset$  и множество отношений на концептах онтологии включает одно из отношений типа иерархии, этот случай соответствует специальному подклассу онтологий, называемыми простыми таксономиями. Под таксономической структурой понимается иерархическая система понятий, связанных между собой одним из отношений «класс-подкласс», «род-вид», «часть-целое» и т.п. При этом не приводится интерпретации понятий, смысл любого понятия раскрывается через указание его взаимосвязей с другими понятиями «вверх» и «вниз» относительно заданной таксономической структуры. Математически таксономией является древовидная структура классификаций определенного набора объектов. В отличие от онтологий, задача таксономий четко определена в рамках иерархической классификации объектов. Например, таксономиями являются используемые в библиографии классификационные системы, которые задают отношения иерархии между понятиями [28].

**Структура онтологии.** Большинство современных онтологий описывают экземпляры (индивиды), классы (понятия), атрибуты и отношения. В общем случае основными компонентами онтологий являются: экземпляры (или индивиды), классы (или понятия), атрибуты, отношения (или связи), аксиомы, правила и ограничения [26].

Экземпляры (instances) или индивиды (individuals) относятся к базовым компонентам самого нижнего уровня онтологии и представляют собой конкретные физические и абстрактные объекты. В литературе они также называются объектами, элементами, терминами. Экземпляры – это отдельные представители класса сущностей или явлений, то есть конкретные элементы какого-либо класса. Экземпляр может принадлежать одному или нескольким классам, или не принадлежать ни одному. Класс может иметь любое количество экземпляров. Главной целью онтологий является именно классификация экземпляров, и хотя их наличие в онтологии не обязательно, но, как правило, они присутствуют.

Классы (classes) или понятия (concepts) – это абстрактные наборы, коллекции или группы объектов (экземпляров). Также они называются множествами, коллекциями, категориями, типами. Классы могут включать в себя экземпляры, другие классы, либо сочетания и того, и другого. Классы или понятия используются в широком смысле, понятием может быть любая сущность, о которой может быть дана какая-либо информация. Понятия рассматриваются как концептуализации классов всех представителей некой сущности или явления. Каждый класс описывает группу индивидуальных сущностей, которые объединены на основании наличия общих свойств.

Класс может быть определен либо экстенциональным способом – указанием представителей класса, либо интенциональным способом – указанием условий. Соответственно, онтология подразделяется на экземпляры, которые являются объектами или событиями реального мира, и классы, которые являются наборами объектов реального мира. Определения класса задают свойства, которым должны соответствовать экземпляры, чтобы быть членами класса. А индивиды, которые удовлетворяют этим свойствам, называются экземплярами.

Классы (или понятия) являются общими категориями, которые могут быть упорядочены иерархически. Обычно классы организованы в таксономию, иерархическую классификацию понятий по отношению включения, при этом класс может быть подклассом другого класса, наследующим все его свойства. В качестве таксономического отношения используется отношение общее-частное, обладающее свойствами транзитивности и наследования.

Атрибуты (attributes) – аспекты, свойства, характеристики, параметры, особенности, которыми могут обладать объекты (а также классы и отношения). Наборы атрибутов

используются для хранения специфичной информации об объектах, которая характеризует объект и привязана к ним. Каждый атрибут имеет имя и значение, которое может быть сложным типом данных. Важная роль атрибутов состоит в том, чтобы определять отношения между объектами онтологии. Обычно отношением является атрибут, значением которого является другой объект. Онтологии являются истинными онтологиями только в том случае, если понятия связаны с другими понятиями (у понятий есть атрибуты).

Важная роль атрибутов заключается в том, чтобы определять отношения (зависимости) между объектами онтологии. Обычно отношением является атрибут, значением которого является другой объект.

Отношения или связи (relations) – способы, с помощью которых классы и экземпляры могут быть связаны друг с другом. Отношения также могут включать дополняющие и специфицирующие их атрибуты. Отношения между объектами в онтологии определяют, как объекты связаны с другими объектами. Как правило, отношение относится к определённому типу (или классу), который указывает, в каком смысле объект связан с другим объектом в онтологии. В совокупности набор отношений описывает семантику предметной области: то есть различные семантические отношения, такие как синонимия, гиперонимия и гипонимия, и т.п.

Базовыми в онтологии считаются отношения классификации (род/вид, класс/подкласс, специализация), которые ориентированы на построение иерархических таксономий, а также на логический вывод свойств объектов, в зависимости от отнесения их к тем или иным классам.

Самым распространенным типом отношений, используемым во всех онтологиях, является отношение категоризации, то есть отнесение к определенной категории (классу). Этот тип отношений имеет ряд других названий, встречающихся в литературе: таксономическое отношение, родовидовое отношение, класс – подкласс, гипоним – гипероним. Добавление в онтологию родовидовых отношений наследования вида «является подклассом» создаёт таксономию – древовидную структуру, наглядно показывающую, как объекты связаны друг с другом. Математически таксономия может быть представлена в виде дерева – связного ациклического графа. В такой структуре каждый объект является потомком родительского класса (в некоторых языках отношение «является подклассом» ограничено одним родителем для всех узлов, но во многих языках это не так).

Еще один распространённый тип отношений – мереологическое отношение включения «часть-целое», показывающее, как объекты объединяются в составные объекты. При включении в онтологию мереологических отношений возникающая иерархия больше не



может быть представлена в виде простой древовидной структуры, поскольку теперь элементы могут иметь более одного родителя. Таким образом, возникает новая структура, представляющая собой ориентированный ациклический граф.

Аксиомы, правила и ограничения выражают суждения, которые имеют место в рассматриваемой предметной области.

Аксиомы (axioms) – утверждения (включая правила) в логической форме, которые вместе составляют общую теорию, которую онтология описывает в своей области применения. Моделируют предложения, которые всегда истинны.

Правила (rules) – утверждения в форме предложения «если–то» (предшествующее – последующее), описывающие логические выводы, которые могут быть сделаны из утверждений.

Ограничения (restrictions) – формально сформулированные описания того, что должно выполняться, чтобы какое-то утверждение было принято в качестве входных данных.

Аксиомы задают условия соотнесения классов и отношений, они выражают очевидные утверждения, связывающие классы и отношения. Под аксиомой можно понимать утверждение, вводимое в онтологию в готовом виде, из которого могут быть выведены другие утверждения. Аксиомы позволяют выразить ту информацию, которая не может быть отражена в онтологии посредством построения иерархии классов и установления различных отношений между ними. Аксиомы позволяют в дальнейшем выстраивать логические утверждения в рамках онтологии. Они могут снабжать исследователей информацией о правилах, позволяющих автоматически добавлять информацию. Аксиомы могут также представлять собой ограничения, накладываемые на какие-либо отношения, делающие возможным выведение умозаключений.

Компоненты онтологии образуют определенную иерархию, на нижнем уровне которой находятся экземпляры, далее идут классы, выше располагаются отношения между классами, а обобщающими и связующими являются аксиомы [16].

## 2.4. Байесовская сеть

Один из самых сложных методов, применяемых для реализации адаптации учебных курсов в интеллектуальных системах обучения – байесовская сеть, которая используется для прогнозирования вероятности того, что учащиеся овладеют новыми знаниями, основываясь на характеристиках, установленных перед началом процесса обучения [29].

Байесовская сеть (Bayesian network) – это вероятностная графическая модель, которая представляет набор переменных и их условные зависимости с помощью ориентированного

ациклического графа. Его вершины – некоторые переменные, а ребра – причинные отношения между переменными. Каждая вершина имеет ассоциированную таблицу условных вероятностей, которые зависят от характеристик учащегося [79].

Вероятность изменяется соответственно с прогрессом успеваемости учащегося, посредством выбора и адаптации метода обучения. Самой трудной задачей при использовании байесовской модели является определение априорных вероятностей, основанных на предварительном тестировании [91].

Из рассматриваемых в статье интеллектуальных систем обучения, байесовская вероятностная модель обучаемого (Bayesian probabilistic student model) используется в системе AST (Adaptive Statistics Tutor), веб-ориентированной обучающей системе по статистике, и системе KBS Hyperbook, адаптивной гиперкниге для курса по информатике и вычислительной технике [97,65].

### **3. Обзор адаптивных систем обучения с генерированием электронных учебных курсов**

Впервые концепция адаптивных электронных учебных курсов была предложена в 1990 году в системе GTE (Generic Tutoring Environment), программной среде для разработки интеллектуальных учебных курсов, основанных на общих знаниях, включающих задачи, методы и объекты [100-102].

Год спустя была разработана система ECSAI (Environnement de Conception de Systeme d'Apprentissage) – генератор обучающей среды с интеллектуальным упорядочением учебных модулей [56-58].

Динамический генератор учебных курсов DCG (Dynamic Courseware Generator) – не первая, но одна из самых примечательных систем. В DCG дифференцируются концепты предметной области, представленные в виде графа (планирование контента) и учебные материалы (планирование представления) [103-105].

Наиболее цитируемая в литературе система ELM-ART (Episodic Student Modelling Adaptive Remote Tutor) представляет собой интеллектуальную веб-среду для изучения LISP. Эта система была разработана в 1996 году на основе ELM-PE (среды программирования ELM), которая поддерживает программирование на основе примеров, интеллектуальный анализ решения задач, расширенное тестирование и отладку. В обеих системах применяется эпизодическое моделирование учащихся. Выводы о знаниях учащихся основываются на просмотренных или прочитанных ими страницах [40,109].

В 1997 году была создана система AST (Adaptive Statistics Tutor) – веб-ориентированный электронный учебный курс для изучения статистики [97].

Через два года после появления ELM-ART и через шесть лет после разработки DCG, в 1998 году, появилась среда для разработки адаптивных учебных курсов ACE (Adaptive Courseware Environment), которая объединила адаптивную навигационную поддержку из ELM-ART с планированием представления из DCG [96].

Последней системой XX века стала система KBS Hyperbook, адаптивная гиперкнига для учебного курса по информатике и вычислительной технике [65].

Первое десятилетие XXI века было очень продуктивным, особенно первые два года. В 2001 году была создана система ATLAS (Authoring Tool for Adaptive Software Design), графический инструмент для разработки интерактивных динамических адаптивных учебных курсов. ATLAS давал представление о взаимосвязях между структурой, содержанием и представлением учебных материалов и моделью обучаемого. Система предоставляла преподавателю возможность создания и редактирования учебного материала и назначения заданий. Для создания нового учебного курса требовалось сделать схематическое разбиение заданий и установить между ними производственные связи [77,80].

Также в 2001 году появилась адаптивная гипермедиа-система под названием INSPIRE (Intelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment) [90].

Еще одна система, обязанная своим происхождением системе ELM-ART – система WINDS (Web-based Intelligent Design and Tutoring System), программное средство для управления контентом, тесно связанная с ACE. Она была разработана для создания индивидуализированных учебных курсов [95].

Система NetCoach, созданная в 2002 году, как и система ACE, основанная на ELM-ART, представляла собой среду для разработки и создания веб-ориентированных адаптивных учебных курсов [108].

В 2002 году была разработана система APeLS (Adaptive Personalized e-Learning Service), первая система, которая представляла учебные курсы с использованием кандидатных групп и описаний. Архитектура системы включала модель контента, модель обучаемого и модель описаний [48].

В 2004 году, основываясь на идеях APeLS, была разработана система ACCT (Adaptive Course Construction Toolkit), предоставляющая набор инструментов для создания как адаптивных, так и традиционных электронных учебных курсов. ACCT включала средства для генерации онтологий предметной области, описаний, тестов и баз данных учебных

материалов, а также поддерживала экспорт учебных программ в APeLS вместе со знаниями и описаниями предметной области [49,50].

В 2005 году в системе ASM (Adaptive Sequencing Methodology) была предложена методология адаптивного упорядочения, в которой были использованы статистические методы поиска наилучшей программы обучения [68].

В 2006 году в системе iClass (Intelligent Distributed Cognitive-based Open Learning System for Schools) были продолжены исследования, проводимые в рамках систем APeLS и ACCT. iClass генерировала электронные учебные курсы, адаптирующиеся в соответствии с когнитивными характеристиками учащихся. В отличие от APeLS, iClass разделяла педагогическую информацию и знания предметной области [87].

В 2009 году в системе PAIGOS был реализован новый метод генерирования электронных учебных курсов, основанный на модели, обладающей важными педагогическими знаниями и не зависящей от теории обучения [98].

Создание учебных курсов в PAIGOS было основано на планировании иерархической сети задач (HTN планировании), которое было впервые предложено в среде дистанционного обучения FORHUM (Formación Humana) [78].

ActiveMath – интеллектуальный генератор электронных учебных курсов, использующийся в PAIGOS [80].

Один из самых современных подходов применяется в системе ADOPTA (ADaptive technOlogy-enhanced Platform for eduTAinment), программной платформе для генерирования адаптивных электронных учебных курсов в интеллектуальных системах обучения, появившейся в 2009 году. Учебные курсы в этой системе названы «раскадровками» («storyboard») [36].

Концепция полноценной персонализации сценариев электронного обучения была реализована в системе ELP1+ELP2 (ELearning personalization levels 1 and 2). Основная цель системы – позволить преподавателям выбирать и применять стратегию персонализации, соответствующую характеристикам учащихся и специфике учебного курса. Первый уровень персонализации ELP1 позволяет персонализировать учебные материалы и структуру учебного курса в соответствии с данной (специфицированной в ELP2) стратегией персонализации (примененной к выбранному сценарию обучения). Второй уровень персонализации ELP2 позволяет определить стратегию персонализации при помощи выбора подмножества параметров персонализации [53].

Разработанная в 2012 году информационная система ISCARE (Information System for Competition based on pRobleM solving in Education) – интеллектуальная система обучения,

основанная на швейцарской системе проведения турниров, которая предоставляет учащимся возможность соревноваться, чтобы улучшить процесс обучения. Соревнование основано на различных турнирах и раундах. В каждом раунде учащиеся разбиваются на группы по два человека, соревнующихся друг с другом, и каждая пара получает разные задачи, которые требуется решить за ограниченный период времени [83].

UZWEBMAT – среда электронного обучения для изучения теории вероятности из курса математики, использует экспертную систему для представления учебного материала в соответствии со стилем обучения учащихся и адаптации материала в соответствии со знаниями учащихся [89].

Oscar CITS (Oscar Conversational ITS) – современная интеллектуальная система, созданная в 2014 году, использующая естественно-языковой интерфейс и предоставляющая учащимся возможность формирования знаний посредством дискуссии. Oscar CITS ставит своей целью моделировать индивидуальное обучение с преподавателем посредством динамического выявления стиля обучения учащихся и последующей адаптации к нему, настраивая диалоговый учебный курс. Oscar CITS не зависит от конкретной модели стилей обучения и изучаемой предметной области [76].

В 2015 году была создана система TECH8 – интеллектуальная адаптивная система электронного обучения, имеющая модульную структуру и основанная на системе сбора метаданных и переменных, имеющих важное значение для процесса обучения. Система, предварительно подготовленная таким образом, поддерживает индивидуализацию и дифференциацию и может быть адаптирована к уровню знаний и пониманием предмета каждым учащимся [52].

### **3.1. Формализация знаний предметной области и модели обучаемого в адаптивных системах обучения**

Первое время знания предметной области в адаптивных системах обучения были представлены в форме графов или сетей. Альтернативные подходы различались видом представления вершин в этих структурах.

В системах ECSAI и ELM-ART знания предметной области организованы в иерархическую сеть концептов. В некоторых системах (DCG, ACE, INSPIRE) для представления знаний предметной области используются графы концептов, при этом каждый концепт связан с некоторым набором учебных материалов (текст, пример, демонстрация, задача, тест). В этой самой простой модели предметной области представлен только один

тип связи – предварительное условие (посылка) (prerequisite), что обеспечивает структурирование контента [41].

В NetCoach знания предметной области представлены в форме концептуальной сети, при этом концепты представляют страницы, содержащие учебный материал, который нужно изложить учащемуся. Есть два типа связей в этой концептуальной сети: предварительное условие (посылка) (prerequisite) и заключение (вывод) (conclusion) [108].

Система KBS Hyperbook использует графы зависимостей, вершины которых – концепты (элементы знаний), а ребра – взаимосвязи между концептами [65].

С 2004 года к формализации знаний предметной области стал применяться онтологический подход. В системах APeLS, ACCT, ASM, iClass и ADOPTA знания предметной области выражены онтологией.

APeLS и ACCT представляют знания предметной области в виде концептуальной онтологии, представляющей собой коллекцию описаний концептов верхнего уровня, связей и взаимосвязей, независимым от содержания способом [48,49].

Граф путей концептов в ASM представляет концептуальную структуру онтологии знаний предметной области. Концепты выбираются из графа путей концептов согласно взаимосвязям между иерархией учебных целей и онтологией предметной области [67].

В ADOPTA все обучающие материалы подразделяются на учебные объекты, которые могут быть описаниями, заданиями или вопросами. Учебные объекты организованы в онтологический семантический граф с двумя видами связей: «является» (is\_a) для связей между описаниями и «имеет» (has\_a) для связей между заданиями, вопросами и описаниями [36].

Что касается подходов к моделированию учащихся, в большинстве рассматриваемых в статье систем применяется оверлейная модель. В этой модели знания учащегося фактически являются взвешенным подмножеством экспертных знаний [45].

Система ECSAI использует простую оверлейную модель, без весов. В ELM-ART, для каждой посещенной страницы, соответствующие элементы в оверлейной модели учащегося помечаются как посещенные. После теста или решения задачи, все изученные концепты из модулей помечаются как известные, и начинается процесс формирования выводов относительно знаний учащегося [40,56].

ASM использует оверлейную модель для определения уровня знаний учащихся и отслеживает число баллов, набранных в тестах, а также число попыток решения тестов. GTE использует взвешенную оверлейную модель. Модель обучаемого в DCG – численная

оверлейная модель с концептуальной структурой, при этом знание учащимся каждого концепта представляется числом внутри заданного интервала [68,100,105].

NetCoach использует многоуровневую оверлейную модель. Первый уровень показывает, посетил ли учащийся страницу, второй уровень содержит информацию об ответах на вопросы, третий уровень показывает, были ли получены сведения о том, что учащийся знает концепт, основываясь на связи между этим концептом и концептами, которые учащимся уже изучены. Четвертый уровень показывает, отметил ли учащийся некоторый концепт как известный [108].

В системе ASM применяется стереотипная модель, которая используется для представления стилей обучения в соответствии с моделью Хани-Мамфорда. Эта стереотипная модель также используется для способа представления учебного материала (визуальный, текстовый, аудиальный и смешанный) [7,11,66].

Более сложные подходы к моделированию учащихся позволяют реализовать более сложную адаптацию. В системах AST и KBS используется байесовская вероятностная модель обучаемого (Bayesian probabilistic student model), а в системах ACE и WINDS – эпизодическая модель обучаемого (episodic student model) [95-97,107].

В KBS Hyperbook применяется байесовская вероятностная модель обучаемого, где узлы – концепты. Зависимости между концептами представлены условными вероятностями. В AST каждое взаимодействие с системой оказывает влияние на модель обучаемого. Влияние зависит от образовательного контента и его параметров. В зависимости от сложности и значимости, показатель надежности в Байесовской вероятностной модели обучаемого увеличивается [65,97].

Эпизодическая модель обучаемого в WINDS хранит все учебные состояния (события). Эти состояния называются «эпизодами» и включают действия учащегося, оценки его работы преподавателем и системой, а также любые выводы системы об уровне знаний учащегося [95].

Модель обучаемого в ACE комбинирует оверлейную и эпизодическую модель, она состоит из трех частей: профиля, модели знаний и модели интересов [96].

Модель обучаемого в APeLS содержит априорные знания и цели обучения. Модель обучаемого в ADOPTA включает цели и предпочтения, стиль обучения и знания учащегося [36,48].

### **3.2. Генерирование и адаптация электронного учебного курса**

Процесс генерирования электронного учебного курса включает в себя следующие три этапа: генерирование элементов учебного курса, выбор и упорядочение элементов учебного курса, представление элементов учебного курса [8].

### 3.2.1. Генерирование элементов электронного учебного курса

Первый этап – это генерирование элементов электронного учебного курса. Он может быть выполнен или самим преподавателем, или же элементы могут быть сгенерированы автоматически. В большинстве рассматриваемых в статье систем элементы учебного курса генерируются преподавателем (GTE, ECSAI, AST, KBS Hyperbook, ATLAS, INSPIRE, WINDS, NetCoach, APeLS, ACCT, ADOPTA, ELP1+ELP2, IS CARE, UZWEBMAT, Oscar CITS, TECH8).

Элементы учебного курса в GTE and ATLAS – задания, или ряд действий, которые требуется выполнить в течение процесса обучения. В GTE задания могут быть следующими: «привести пример», «привести противоположный пример», «выполнить упражнение», «сделать обзор» [100].

Элементы учебного курса в ECSAI – учебные модули, являющиеся совокупностью содержательных, практических и оценочных элементов, которые скомбинированы для достижения единой цели обучения. Каждый учебный модуль связан с описанием, которое включает: метку, тип (представление, примеры, упражнения), текстовое описание, предусловия (завершенные уроки, понимание учащимся некоторых элементов знаний предметной области) и постусловия (изменения в модели обучаемого после завершения модуля) [58].

В AST существуют различные типы элементов учебного курса – уроки, разделы, подразделы и концепты. При этом каждый элемент учебного курса имеет так называемые предпосылки (учебные модули, которые учащийся должен знать) и последствия (возможное влияние на другие учебные модули) [97].

Учебный курс в KBS Hyperbook состоит из модулей, которые соответствуют частям книги и семантически связаны, при этом каждый модуль индексирован концептами предметной области [65].

В INSPIRE элементы учебного курса – модули, которые включают цели обучения, итоговые концепты и учебный материал, связанный с итоговыми концептами и их предварительными концептами. Концепты, являющиеся самыми важными для достижения цели, называются итоговыми концептами. С каждым итоговым концептом связаны предварительные и зависимые концепты [90].



В APeLS учебный курс подразделяется на секции, модули и элементы. Курс – это последовательность шагов по контенту, каждый шаг состоит из набора учебных материалов, имеющих одну и ту же учебную цель, т.е. принадлежащих одной «кандидатной группе» (candidate group). Каждая «кандидатная группа» содержит учебные объекты, отвечающие одним и тем же требованиям к контенту. Учебные объекты в «кандидатной группе» могут отличаться друг от друга техническими, образовательными или любыми другими характеристиками, которые могут быть адаптированы. Разделение контента и его характеристик способствует повторному использованию учебных объектов [48].

В ACCT элементы учебного курса – концептуальные описания (concept narratives). Описательная модель содержит в себе семантику применяемой педагогической стратегии. Она описывает логику выбора и представления учебных действий и концептов. Концептуальное описание позволяет преподавателю применять аспекты педагогической стратегии к некоторым частям адаптивного учебного курса [49].

В ADOPTA элементы курса – учебные объекты, которые преподаватель помещает на страницы так называемой «раскадровки» (storyboard) учебного курса. Для каждого учебного объекта преподаватель задает коэффициент уровня знаний, который используется механизмом адаптации для адаптивного выбора контента [36].

В UZWEBMAT во время подготовки элементов курса (учебных объектов) особое внимание уделяется тому, чтобы учебные объекты учитывали особенности каждого стиля обучения. Например, диаграммы, блок-схемы, рисунки и анимации подходят для учащихся визуального типа, а звуковые инструкции, оповещения и обратная связь – для аудиального типа [89].

В ELM-ART элементы учебного курса – модули, иерархически организованные в уроки, разделы, подразделы и конечные страницы [40].

Структура курса в ACE – концептуальная сеть из модулей, которые могут быть секциями (могут включать другие модули) или концептами. Каждый учебный модуль включает т.н. «предварительные» модули, которые учащиеся должны знать перед изучением определенного модуля. Предварительные модули имеют веса в соответствии со своей значимостью [96].

В DCG элементы учебного курса – HTML страницы, связанные с концептами предметной области. Генерирование учебного курса учитывает текущие знания учащихся и принимает во внимание различия в способе и скорости приобретения знаний [105].

В PAIGOS элементы учебного курса – структурированные наборы ссылок на учебные материалы [98].

Учебный курс в системе TECH8 состоит из шагов обучения и оценивания. Каждый шаг обучения имеет разветвленную структуру с многочисленными формирующими оценками [52].

### 3.2.2. Выбор и упорядочение элементов учебного курса

Второй этап генерирования учебного курса – это выбор и упорядочение элементов курса. Этот процесс может быть статическим (выполняться только один раз перед началом обучения) или динамическим (повторяться несколько раз в течение процесса обучения).

В большинстве рассматриваемых в статье систем (ECSAI, DCG, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, ATLAS, INSPIRE, NetCoach, APeLS, ACCT, ASM, ADOPTA, ISCARE, UZWEBMAT, TECH8) используется динамический выбор и упорядочение элементов курса.

В DCG используется планировщик контента, который генерирует пути в графе концептов предметной области. Эти пути служат шаблоном для планирования представления. Впоследствии планировщик представления выбирает учебный материал, связанный с выбранными концептами предметной области, и определяет порядок и способ, которыми этот материал будет представлен учащемуся [105].

В ELM-ART каждый модуль содержит статические слоты для текста, который будет показан, и для информации, которая будет использоваться для связывания модулей с концептами. Модули также могут иметь динамические слоты для тестов, содержащих вопросы, на которые учащийся должен ответить, дополнительно к описанию задачи. В процессе формирования выводов об учащемся все концепты, которые служили предпосылками для модуля, считаются изученными. Информация из динамических слотов используется для автоматической генерации оптимального пути (плана) обучения для учащегося [40].

В AST имеется стратегия обучения по умолчанию для каждого типа концептов (обучение на примере, обучение с помощью чтения текста, обучение на собственном опыте), хотя преподаватель может изменять ее по мере необходимости. Кроме того, для каждой стратегии обучения есть правила, допускающие адаптивный выбор стратегии обучения в зависимости от характеристик учащегося и типа изучаемых концептов. Система отслеживает, какую комбинацию и порядок учебных материалов учащийся использует чаще всего, и соответствующим образом изменяет стратегию обучения [97].

AST определяет, какие модули учащийся должен изучать далее, базируясь на байесовской вероятностной оверлейной модели и требованиях для возможных следующих модулей. Система сначала отбрасывает те модули, для которых учащийся не выполнил необходимых

условий, а затем обращает внимание на достоверность, надежность и вес модулей, для которых учащийся выполнил необходимые условия. Следующим модулем выбирается тот, для которого учащийся достоверно выполнил самые важные условия.

В ACE преподаватель должен явно определить, какие стратегии обучения будут использоваться для каждого типа концептов. Компонент адаптивного упорядочения системы пытается придерживаться пути обучения, определенного текущим знанием учащегося. Кроме того, упорядочение адаптируется к интересам, установленным учащимся [96].

В KBS Hyperbook учащиеся выбирают цель обучения, и система предлагает проектные модули, с которыми они должны поработать для достижения своей цели (адаптивный выбор проекта). Кроме того, система может предложить цели обучения, которые совместимы со знаниями учащегося (адаптивный выбор цели): система предлагает проекты и затем генерирует учебный курс [65].

На основании цели обучения, выбранной учащимся, INSPIRE генерирует элементы учебного курса (уроки), совместимые со стилем обучения и знанием учащегося [90].

В NetCoach цель обучения – множество концептов, которые учащиеся должны изучить. Все необходимые условия автоматически определяются и предлагаются подходящие элементы учебного курса (страницы). На основании описаний концептов все элементы курса генерируются индивидуально в соответствии с моделью учащегося [108].

План обучения в iClass состоит из элементов учебного курса (концептов), которые определены согласно выбранной стратегии обучения [87].

### **3.2.3. Представление элементов электронного учебного курса**

Представление элементов электронного учебного курса – третий этап генерирования учебного курса, где также применяется адаптация. Большинство рассматриваемых в статье систем используют методы адаптивной гипермедиа, такие как адаптивная поддержка навигации и адаптивное аннотирование гиперссылок (ECSAI, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, INSPIRE, WINDS, NetCoach, ADOPTA) [7,11,13,38].

ELM-ART использует технику адаптивного аннотирования на основе расширенной «модели светофора». В этой модели зеленая точка перед гиперссылкой указывает на рекомендуемую для изучения информацию, красная точка показывает, что у учащегося недостаточно знаний для понимания данной информации, а желтая точка означает, что эта гиперссылка не ведет к новой информации для учащегося. Помимо этого, в системе существует возможность следовать оптимальному плану обучения, который определяется текущим знанием учащегося. Следующая страница в оптимальном плане обучения

соответствует странице, помеченной как «рекомендуемая». Подобный метод используется в системе AST [40].

KBS Hyperbook также применяет адаптивную навигацию для адаптации списков модулей учебного курса [65].

ACE реализует два метода поддержки адаптивной навигации: адаптивное аннотирование и пошаговое связывание гиперссылок. Адаптивное аннотирование гиперссылок предоставляет учащемуся дополнительную информацию относительно контента по гиперссылке (используя различные цвета). Аннотирование адаптируется к учащемуся, принимая во внимание его знания и связи между модулями, которые должны быть изучены (уже просмотренные концепты; концепты, для которых у учащегося не хватает предварительных знаний; предпочтительные концепты и модули, не рекомендуемые, но не требующие дополнительных знаний) [96].

В WINDS структура учебного курса и модель обучаемого допускают адаптивную навигацию и представление. Поскольку учебные объекты скомпонованы, могут быть использованы различные техники адаптации: прямое руководство, сортировка, сокрытие и аннотирование гиперссылок. Учебные элементы состоят из контент-блоков, которые имеют предопределенную последовательность и учебную роль, что позволяет приложениям использовать различные методы адаптации: дополнительные, предварительные и сравнительные пояснения, варианты пояснений и сортировку гиперссылок [95].

NetCoach использует адаптивное аннотирование гиперссылок. Следующая страница, рекомендуемая учащемуся, динамически генерируется на основании целей обучения и знаний учащегося. Учащиеся получают предупреждение, если они выбирают страницу, для которой у них нет предварительных знаний (предупреждения можно отключить) [108].

Для представления учебного курса в ADOPTA используются адаптивная навигация, аннотирование и выбор контента [36].

В системах GTE, DCG, APeLS и ASM для представления элементов учебного курса используется подход, отличный от адаптивной гипермедиа. В GTE для адаптации применяется динамический выбор методов обучения. Перед выполнением определенной задачи GTE выбирает наиболее подходящий метод обучения, связанный с этой задачей [102].

DCG использует план представления для каждого концепта. Во время представления учебного курса, если учащиеся правильно отвечают на вопросы теста, то они продолжают процесс обучения в соответствии с определенным планом, который не меняется. Если учащиеся демонстрируют недостаток знаний, учебный курс перепланируется. Перепланирование осуществляется или на уровне представления, посредством изменения

последовательности учебного материала, или посредством изменения методов обучения для представления концепта. Если учащиеся снова демонстрируют недостаток знания, планировщик контента генерирует новое подмножество концептов, ведущих к пониманию заданного концепта в соответствии с текущим знанием учащегося [105].

В APeLS планирование представления ограничено выбором кандидатной группы. Кандидатная группа предопределяется множеством различных структур и форматов для учебных материалов [48].

В ASM граф планов обучения строится путем замещения каждого концепта в графе путей концептов на соответствующую последовательность учебных материалов [68].

#### **3.2.4. Функции адаптации**

Следующий четырехфазный циклический процесс адаптации электронных учебных курсов в системах обучения был предложен в 2008 году [93]:

- 1) сбор информации об обучаемом;
- 2) создание и поддержание модели обучаемого;
- 3) выбор элементов учебного курса на основании модели обучаемого;
- 4) представление элементов учебного курса на основании модели обучаемого.

Существует много различных классификаций когнитивных стилей и стилей обучения, также как и противоречивых мнений о том, какой подход наилучший. Очевидно, что учащиеся отдают предпочтение одному из способов обучения, но неясно, насколько стабильны эти предпочтения, то есть изменяются ли они в зависимости от контента или настроения учащегося, и насколько они надежны для определения способа, которым учащийся предпочитает обучаться. Информация об учащемся, полученная посредством проверки его знаний, более надежна, чем выводы, сделанные на основании истории его навигации [7,11,77].

Проблемы измерения и оценки уровня знаний, умений и навыков учащихся в настоящее время являются одними из центральных в практике электронного обучения. Если цель обучения определяет, что должны знать и уметь учащиеся, то задачи обучения отвечают на вопрос, как двигаться к этой цели. В 1956 году американским психологом методов обучения Бенджамином Блумом (Benjamin Samuel Bloom) была создана первая таксономия целей обучения. Она является самой известной моделью, описывающей процесс мышления, и включает шесть навыков мышления, структурированных от самого базового до самого продвинутого уровня. С точки зрения Блума, цели обучения напрямую зависят от иерархии мыслительных процессов, их еще называют элементами таксономии Блума: знание

(knowledge), понимание (comprehension), применение (application), анализ (analysis), синтез (synthesis) и оценка (evaluation). Таксономия Блума помогает структурировать учебный процесс и проверять глубину знаний обучающихся, обеспечивая четкую и стабильную базу для разработки адаптивных систем обучения [7,11,35].

В рассматриваемых в статье системах основные механизмы адаптации основаны на стилях обучения (AST, ATLAS, INSPIRE, WINDS, APeLS, ACCT, ASM, ADOPTA, ELP1+ELP2, UZWEBMAT, Oscar CITS) и целях обучения (KBS Hyperbook, NetCoach, ACCT, iClass). Несколько систем адаптируют учебный курс в соответствии с предпочтениями или интересами учащихся (DCG, ACE, WINDS, iClass), когнитивным стилем (DCG) или поведением учащихся (ECSAI).

Подавляющее большинство систем применяет адаптацию в соответствии со знанием учащихся. Этот вид адаптации не влияет на изменение содержания элементов учебного курса, он скорее заключается в выборе и упорядочении элементов учебного курса (ECSAI, DCG, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, INSPIRE, WINDS, NetCoach, APeLS, ACCT, ASM, iClass, ADOPTA, ELP1+ELP2, ISCARE).

Адаптация электронного учебного курса может быть достигнута или выбором и упорядочением элементов курса, или адаптацией представления элементов курса. При адаптации одним из ключевых моментов является использование как можно более мелких элементов учебного курса. Чем глубже уровень, тем адаптация точнее и чувствительнее, и, в конечном счете, тем она успешнее.

Рассматриваемые в статье системы в большинстве своем в качестве уровней адаптации используют модули (units) (ECSAI, ELM-ART, AST, ACE, KBS Hyperbook, ELP1+ELP2), страницы (pages) (NetCoach), уроки (lessons) (INSPIRE), задачи (tasks) (ATLAS, ISCARE), темы (themes) (GTE), учебные объекты (learning objects) (WINDS, iClass, ADOPTA, UZWEBMAT, Oscar CITS) или кандидатные группы (candidate groups) (APeLS, ACCT). Только две системы (DCG, ASM) используют наименьшие элементы, допустимые в качестве уровня адаптации – концепты предметной области.

### **3.3. Тестирование знаний**

Тестирование знаний учащихся – одна из важных функций, предоставляемых системами обучения. В большинстве рассматриваемых в статье систем преподаватель должен сам формулировать вопросы для проверки знаний учащихся. Недостаток такого подхода в том, что преподавателям вручную требуется вводить вопросы, определять методы оценивания, выбирать правильные и неправильные ответы и выставять оценки.

При исследовании задачи тестирования знаний в адаптивных системах важно различать, генерирует ли система вопросы сама (автоматически), или же преподаватель вводит вопросы (вручную). Во многих системах тестирование знаний не проводится вообще (GTE, ECSAI, KBS Hyperbook, ATLAS, APeLS, ACCT, ELP1+ELP2, ISCARE, Oscar CITS). В некоторых системах вопросы формулируются преподавателем (DCG, ELM-ART, AST, ACE, INSPIRE, WINDS, NetCoach, ADOPTA, UZWEBMAT, TECH8). Для систем ASM, iClass и PAIGOS, тестирование знаний упоминается, но явно не описывается.

При этом нет ни одной системы, в которой вопросы для тестирования полностью автоматически генерируются, основываясь на модели предметной области. Только в системе ACE проводится предварительный тест знаний учащихся, который генерируется динамически и включает все концепты первого уровня и связанные с ними тесты. Во время прохождения учебного курса знания учащихся проверяются, и система динамически адаптируется к изменяющимся знаниям. В системе DCG учащиеся могут сами по желанию пройти тесты на знание любого концепта в любое время. Упражнения и тесты представлены в виде небольших модулей, содержащих сохраненные правильные ответы, объяснения и т.д.

#### **4. Заключение**

В наш век стремительного развития информационно-образовательных ресурсов, сетевых дистанционных технологий и внедрения электронного обучения в современную систему образования разработка адаптивных электронных учебных курсов, предоставляющих индивидуализированный учебный материал для каждого учащегося и динамически выбирающих оптимальный метод обучения на каждом шаге процесса обучения, является актуальным и перспективным направлением исследований.

В статье дан обзор интеллектуальных систем обучения с адаптивным генерированием электронных учебных курсов, приведены методы и средства адаптации, применяемые на этапах генерирования, выбора и упорядочения, и представления элементов учебного курса. Рассмотрены вопросы формализации предметной области и модели обучаемого, функции адаптации и тестирования знаний учащихся в данных системах. В рамках статьи представлены методы, применяемые для реализации адаптации электронных учебных курсов: графы путей концептов, графы планов обучения, графы учебной деятельности, концептуальные карты, онтологии, байесовские сети.

Рассмотрев и проанализировав преимущества и недостатки методов и средств, используемых для адаптации в описанных в статье системах обучения, можно прийти к выводу, что модель адаптивного генерирования электронных учебных курсов должна

удовлетворять следующим требованиям: генерирование элементов учебного курса должно быть автоматическим и основанным на структуре знаний предметной области; выбор и упорядочение элементов учебного курса должны быть динамическими и базироваться на знаниях обучаемого; вопросы и тесты для проверки знаний учащихся должны автоматически генерироваться, исходя из структуры знаний предметной области.

Также в модели, удовлетворяющей вышеперечисленным требованиям, должен применяться онтологический подход к формализации знаний предметной области; модель обучаемого должна комбинировать оверлейную модель с байесовской вероятностной моделью. Преподаватель не должен влиять на генерирование элементов учебного курса, этот процесс должен быть полностью автоматизирован, базируясь на онтологии предметной области. Уровень знаний учащихся должен определяться согласно таксономии Блума. Адаптация электронного учебного курса может быть достигнута выбором и упорядочением элементов курса или адаптацией представления элементов курса. Поскольку при адаптации одним из ключевых моментов является использование насколько возможно более мелких элементов учебного курса, в качестве уровня адаптации должны использоваться концепты знаний предметной области, как самые наименьшие и неделимые частицы знаний.

Тестирование знаний учащихся должно быть автоматизировано и исключать любое вмешательство преподавателя, вопросы должны генерироваться автоматически и быть связанными с тестами, которые тоже должны оцениваться автоматически. Вопросы тестов должны генерироваться, основываясь на концептах и отношениях между ними в онтологии предметной области с использованием шаблонов вопросов. Уровень сложности вопросов также должен соответствовать уровню знаний учащихся, используя таксономию Блума.

## Список литературы

1. Абасов З.А. Индивидуализация обучения - путь развития индивидуальности ученика // Народное образование. 2015. № 4. С. 134-142.
2. Абрамова Н.В., Николаева Ю.В. Построение концептуальных карт как метод повышения валидности результатов оценочного исследования // Социология: методология, методы, математическое моделирование. 2006. № 23. С. 83-99.
3. Баранников К., Ананин Д., Стрикун Н., Алканова О., Байзаров А. Гибридное обучение: российская и зарубежная практика // Вопросы образования. 2023. №2. С. 33-69.
4. Болдачёв А.В. Событийная онтология vs объектная. 21.12.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/706916/>
5. Бурняшов Б.А. Персонализация как мировой тренд электронного обучения в учреждениях высшего образования // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1.



6. Бьюзен Т. Интеллект-карты. Полное руководство по мощному инструменту мышления / пер. с англ. Ю. Константиновой. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019. 208 с.
7. Волянская Т.А. Адаптивное генерирование учебных курсов в интеллектуальных системах дистанционного обучения. Часть 1. Новосибирск, 2019. 54 с. (Препринт / ИСИ СО РАН; № 183).
8. Волянская Т.А. Адаптивное генерирование учебных курсов в интеллектуальных системах дистанционного обучения. Часть 2. Новосибирск, 2019. 40 с. (Препринт / ИСИ СО РАН; № 184).
9. Волянская Т.А. Виртуальный музей истории информатики в Сибири // Материалы Междунар. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Новосибирск, 2002. С. 49.
10. Волянская Т.А. Виртуальный музей истории информатики в Сибири: модель предметной области и модель пользователя // Новые информационные технологии в науке и образовании. Новосибирск, 2003. С. 124-146.
11. Волянская Т.А. Вопросы адаптивности в системах дистанционного обучения // Системная информатика. 2020. № 16. С. 11-46.
12. Волянская Т.А. Методы адаптации гипермедиа и их применение при создании виртуального музея истории информатики в Сибири // Материалы XL Междунар. науч. студенческой конф. «Студент и научно-технический прогресс». Новосибирск, 2002. С. 173-174.
13. Волянская Т.А. Методы и технологии адаптивной гипермедиа // Современные проблемы конструирования программ. Новосибирск, 2002. С. 38-68.
14. Волянская Т.А., Касьянов В.Н., Несговорова Г.П. Адаптивная гипермедиа и ее использование при создании виртуального музея истории информатики в Сибири // Материалы Пятой международной конференции «Перспективы систем информатики» PSI'03. Новосибирск, 2003. С. 10-12.
15. Горшков С. Введение в онтологическое моделирование. ООО ТриниДата, 2018. 165 с.
16. Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. 173 с.
17. Иванов П., Иванова Р. Использование интеллект-карт в учебном процессе: Учебно-методическое пособие. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 68 с.
18. Касьянов В.Н. Музеи и Интернет: новая виртуальная реальность // Вычислительные технологии, 2008, Том 13, С. 239-247.
19. Касьянов В.Н. Музеи и Интернет: новые возможности // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях. Новосибирск: Новосибирский госуниверситет, 2006. Выпуск 10. С. 88- 96.

20. Касьянов В.Н. Музеи и Интернет // Современные информационные технологии и письменное наследие: от древних текстов к электронным библиотекам. Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2008. С.132-135.
21. Касьянов В.Н, Касьянова Е.В. Адаптивные системы и методы дистанционного обучения // Информационные технологии в высшем образовании. 2004. Т.1, № 4. С. 40-60.
22. Касьянов В.Н., Несговорова Г.П., Волянская Т.А. Виртуальный музей истории информатики в Сибири // Проблемы программирования, 2003, N. 4, С. 82-91.
23. Касьянова Е.В. Адаптивные методы и средства поддержки дистанционного обучения программированию. Новосибирск: ИСИ СО РАН, 2007. 170 с.
24. Касьянова Е.В. Методы и средства обучения программированию в вузе // Образовательные ресурсы и технологии, 2016, № 2, С. 23-30.
25. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010. 247 с.
26. Митрофанова О.А., Константинова Н.С. Онтологии как системы хранения знаний // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. 54 с.
27. Муромцев Д.И. Концептуальное моделирование знаний в системе Concept Map. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2009. 83 с.
28. Поллак Г.А. Современные технологии анализа информации: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 115 с.
29. Anh N.V., Ha N.V., Dam H.S. Constructing a Bayesian Belief Network to Generate Learning Path in Adaptive Hypermedia System // Journal of Computer Science and Cybernetics. 2008. V. 24, N. 11. P. 12-19.
30. Ausubel, D. Educational Psychology: A Cognitive View. Holt, Rinehart & Winston, New York, 1968. 685 p.
31. Ausubel, D. The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000. 212 p.
32. Beaumont I., Brusilovsky P. Educational applications of adaptive hypermedia // Human-Computer Interaction, Proc. of Interact'95, Lillehammer, Norway. London, Chapman & Hall. 1995. P. 410-414.
33. Benyon D., Murray D. Adaptive systems: From intelligent tutoring to autonomous agents // Knowledge-Based Systems. 1993. V. 6, N. 4. P. 197-219.
34. Bhaskar M., Das M.M., Chithralekha T., Sivasathya S. Genetic Algorithm Based Adaptive Learning Scheme Generation For Context Aware E-Learning // IJCSE International Journal on Computer Science and Engineering. 2010. V. 2, N4. P. 1271-1279.
35. Bloom B.S. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Handbook I, cognitive domain. New York, Toronto: Longmans, Green, 1956. 207 p.
36. Bontchev B., Vassileva D., Chavkova B., Mitev V. Architectural design of a software engine for adaptation control in the ADOPTA elearning platform // Proc. of the International Conference on

- Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing, ACM, 2009. P. 1-6.
37. Brusilovsky P. Adaptive educational systems on the world-wide-web: A review of available technologies // Proc. of Workshop "WWW-Based Tutoring" at 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'98). San Antonio, 1998.
  38. Brusilovsky P. Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia // User Modeling and User Adapted Interaction. 1996. V. 6, N. 2-3. P. 87-129.
  39. Brusilovsky P., Nijhawan H. A framework for adaptive e-learning based on distributed re-usable learning activities // Proc. of World Conference on E-Learning, E-Learn 2002. Montreal, Canada, AACE, 2002. P. 154-161.
  40. Brusilovsky P., Schwarz E., Weber G. ELM-ART: An intelligent tutoring system on World Wide Web // Intelligent Tutoring Systems, Springer, 1996. P. 261-269.
  41. Brusilovsky P., Vassileva J. Course sequencing techniques for large-scale web-based education // International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning. 2003. V. 13, N. 1. P. 75-94.
  42. Buzan, Tony&Barry. The Mind Map Book. BBC:London, 2003. 277 p.
  43. Cañas, A.J., Reiska, P., Novak, J.D. Is My Concept Map Large Enough? // Innovating with Concept Mapping. CMC 2016. Communications in Computer and Information Science, vol. 635. Springer, Cham, 2016.
  44. Carchiolo V., Longheu A., Malgeri M., Mangioni G. Automatic generation of learning paths // Proc. of the 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems ICECS 2003, IEEE. 2003. V. 3. P. 1236-1239.
  45. Carr B., Goldstein I.P. Overlays. A theory of modeling for computer-aided instruction, AI Lab Memo 406 / Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. Massachusetts, 1977.
  46. Chang M., Chang A., Heh J.S., Liu T.C. Contextaware learning path planner // WSEAS Transactions on Computers. 2008. V. 7, N. 4. P. 316-325.
  47. Chapelle C., Mizuno S. Student's strategies with learner-controlled CALL // Calico Journal. 1989. V. 7, N. 2, P. 25-47.
  48. Conlan O., Wade V., Bruen C., Gargan M. Multi-model, Metadata Driven Approach to Adaptive Hypermedia Services for Personalized eLearning // Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems / Eds. Bra P. D., Brusilovsky P., and Conejo R. (Lecture Notes in Computer Science). Springer, 2002. V. 2347. P. 100-111.
  49. Dagger D., Wade V., Conlan O. Developing Adaptive Pedagogy with the Adaptive Course Construction Toolkit (ACCT) // Proc. of the Third International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems, AH2004 / Eds. De Bra P. and Nejd W. Berlin: Springer Verlag, Eindhoven, The Netherlands, 2004. P. 55-64.

50. Dagger D., Wade V., Conlan O. Personalisation for all: Making adaptive course composition easy // *Educational Technology & Society*. 2005. V. 8, N. 3. P. 9-25.
51. Dijkstra S., Krammer H.P., Van Merriënboer J.G. *Instructional models in computer-based learning environments*. – Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA, 1992. 516 p.
52. Dolenc K., Aberšek B. TECH8 intelligent and adaptive elearning system: Integration into Technology and Science classrooms in lower secondary schools // *Computers & Education*. 2015. V. 82. P. 354-365.
53. Essalmi F., Ayed L.J.B., Jemni M., Kinshuk, Graf S. A fully personalization strategy of E-learning scenarios // *Computers in Human Behavior*. 2010. V. 26, N. 4. P. 581-591.
54. Felder R.M., Silverman L.K. Learning and teaching styles in engineering education // *Engineering education*. 1988. V. 78, N. 7. P. 674-681.
55. Gascuena J.M., Fernandez-Caballero A., Gonzalez P. Domain ontology for personalized e-learning in educational systems // *Proc. of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. 2006. P. 456-458.
56. Gavignet E. *Environnement de conception de système d'apprentissage: une modélisation de la connaissance pédagogique: PhD thesis, de l'Université de Nancy 1*. 1991.
57. Grandbastien M. Teaching expertise is at the core of ITS research // *International journal of artificial intelligence in education*. 1999. V. 10, N. 3-4. P. 335-349.
58. Grandbastien M., Gavignet E. ECSA: An Environment to Design and Instantiate Learning Material // *Handbook of Design and Production of Multimedia and Simulation-based Learning Material / Eds. Jong T. and Sarti L. Kluwer Academic, Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1994. P. 31-44.*
59. Gruber Thomas R. A translation approach to portable ontology specifications // *Knowledge Acquisition*. 1993. V. 5. P. 199-220.
60. Gruber Thomas R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing // *International Journal of Human-Computer Studies*. 1995. Vol.43, № 5-6. P. 907–928.
61. Gruber T. *Ontology* // *Encyclopedia of Database Systems*, Ling Liu and M. Tamer Özsu (Eds.), Springer-Verlag, 2009.
62. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems // *Proceedings of the 1st International Conference on Formal Ontologies in Information Systems, FOIS'98, Trento, Italy*. IOS Press, Amsterdam, 1998. P. 3-15.
63. Guriano N. Understanding, Building, and Using Ontologies // *International Journal of Human and Computer Studies*. 1997. Vol. 46. P. 293-310.
64. Grubišić A., Stankov S., Žitko B. Adaptive Courseware: A Literature Review // *Journal of Universal Computer Science*. 2015. V. 21, N. 9. P. 1168-1209.
65. Henze N., Nejdil W. Adaptivity in the KBS Hyperbook System // *Proc. of the 2nd Workshop on User Modeling and Adaptive Systems on the WWW*. Toronto, Canada, 1999. P. 67-74.
66. Honey P., Mumford A. *The manual of learning styles*. Maidenhead, Peter Honey, 1992.

67. Karampiperis P., Sampson, D. Adaptive instructional planning using ontologies // Proc. of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2004. P. 126–130.
68. Karampiperis P., Sampson D. Adaptive learning resources sequencing in educational hypermedia systems // Educational Technology & Society. 2005. V. 8, N. 4. P. 128-147.
69. Kasyanov V.N. An open adaptive virtual museum of informatics history in Siberia // Proc. of the 20th IFIP World Computer Congress // IFIP International Federation for Information Processing. Boston: Springer, 2008. V. 266. History of Computing and Education 3 (HCE 3). P. 129-146.
70. Kasyanov V.N. An open adaptive virtual museum of information history in Siberia // IFIP Advances in Information and Communication Technology. Berlin: Springer, 2011. Vol. 357. P. 194-200.
71. Kasyanov V. SVM – Siberian Virtual Museum of Informatics History // Innovation and the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case Studies. Amsterdam: IOS Press, 2005. Part 2. P.1014-1021.
72. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. A Web-based system for distance learning of programming // Proc. of the European Computing Conference / Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer, 2009. V. 27. P. 453-462.
73. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. Graph- and cloud-based tools for computer science education // Lecture Notes of Computer Science, 2015, Vol. 9395, P. 41-54.
74. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. Methods and Tools for Teaching Programming at University // Journal of Physics: Conference Series, 2020, Vol. 1603, 012021.
75. Kasyanov V., Kasyanova E. WAPE — a system for distance learning of programming // Learning to Live in the Knowledge Society: IFIP 20th World Computer Congress. Boston: Springer, 2008. P. 355-356. (IFIP International Federation for Information Processing, V. 261).
76. Latham A., Crockett K., McLean D. An adaptation algorithm for an intelligent natural language tutoring system // Computers & Education. 2014. Vol 71. P.97-110.
77. Lin T. Cognitive Trait Model for Adaptive Learning Environments: PhD Thesis, Massey University. Palmerston North, New Zealand, 2007.
78. Magoulas G.D., Papanikolaou Y., Grigoriadou M. Adaptive web based learning: accommodating individual differences through system's adaptation // British Journal of Educational Technology. 2003. V. 34, N. 4. P. 511-527.
79. Márquez J.M., Ortega J.A., Gonzalez-Abril L., Velasco F. Creating adaptive learning paths using Ant Colony Optimization and Bayesian Networks // Proc. of the IEEE World Congress on Computational Intelligence IJCNN 2008. 2008. P. 3834-3839.
80. Melis E., Gogvadze G., Libbrecht P., Ullrich C. Activemath – a learning platform with semantic web features // Semantic Web Technologies for e-Learning / Eds. Dicheva D., Mizoguchi R. and Greer J. (Eds.). IOS Press, The Future of Learning. 2009. P. 159-177.
81. Mödritscher F. Adaptive E-Learning Environments: Theory, Practice, and Experience. Verlag Dr. Müller, 2008.

82. Mohan P., Greer J., McCalla G. Instructional planning with learning objects // Knowledge Representation and Automated Reasoning for E-Learning Systems. 2003. P. 52-58.
83. Muñoz- Merino P.J., Fernández Molina M., Muñoz-Organero M., Delgado Kloos C. An adaptive and innovative question-driven competition-based intelligent tutoring system for learning // Expert Systems with Applications. 2012. V. 39, N. 8. P. 6932-6948.
84. Novak, J.D. & Gowin, D.B. Learning How To Learn. Cambridge University Press: New York, 1984. 216 p.
85. Novak J.D., Cañas A.J. The Theory Underlying Concept Maps and How To Construct and Use Them. Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2008. (Tech. Rep. / IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008).
86. Novak, J.D., Cañas, A.J. Theoretical Origins of Concept Maps, How to Construct Them, und Uses in Education. Reflecting Education Vol3 No1, 2007.
87. O Keeffe I., Brady A., Conlan O., Wade V. Just-in-time generation of pedagogically sound, context sensitive personalized learning experiences // International Journal on e-Learning. 2006. V. 5, N1. P. 113-127.
88. Oppermann R., Rasher R. Adaptability and adaptivity in learning systems // Knowledge Transfer. 1997. Vol 2. P. 173-179.
89. Özyurt Ö., Özyurt H., Baki A., Güven B., Karal H. Evaluation of an adaptive and intelligent educational hypermedia for enhanced individual learning of mathematics: A qualitative study // Expert Systems with Applications. 2012. V. 39, N. 15. P. 12092-12104.
90. Papanikolaou K.A., Grigoriadou M., Kornilakis H., Magoulas G.D. Personalizing the Interaction in a Web-based Educational Hypermedia System: the case of INSPIRE // User Modeling and User-Adapted Interaction. 2003. V. 13, N. 3. P. 213-267.
91. Park O., Lee J. Adaptive instructional systems // Handbook of Research on Educational Communications and Technology, 3rd ed / Eds. Spector J.M., Driscoll M.P., Van Merriënboer J., and Merrill M.D. 2008. P. 469-484.
92. Pukkhem N., Evens M.W., Vatanawood W. The Concept Path Combination Model for Supporting a Personalized Learning Path in Adaptive Educational Systems // Proc. of the 2006 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, e-Government, and Outsourcing (EEE'06). 2006. P. 10-16.
93. Shute V.J., Zapata-Rivera D. Adaptive technologies // Handbook of research on educational communications and technology. 2008. P. 277-294.
94. Smith M.K., Welty C., McGuinness D. OWL Web Ontology Language Guide. 10.02.2004. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>
95. Specht M., Kravcik M., Pesin L., Klemke R. Authoring adaptive educational hypermedia in WINDS // Proc. of ABIS2001. Dortmund, Germany, 2001. P. 1-8.

96. Specht M., Oppermann R. ACE-adaptive courseware environment // *The New Review of Hypermedia and Multimedia*. 1998. V. 4, N. 1. P. 141-161.
97. Specht M., Weber G., Heitmeyer S., Schöch V. AST: Adaptive WWW-courseware for statistics // *Proc. of Workshop 'Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web' at 6th International Conference on User Modeling, UM97*. Chia Laguna, Sardinia, Italy, 1997. P. 91-95.
98. Ullrich C. Pedagogically founded courseware generation for web-based learning: an HTN-planning-based approach implemented in PAIGOS // *Lecture Notes in Computer Science*. 2008. V. 5260. P. 111-167.
99. Uschold M., Gruninger M. *Ontologies: Principles, Methods and Applications* // *Knowledge Engineering Review*. 1996. Vol.11, № 2. P. 93-155.
100. Van Marcke K. A generic tutoring environment // *The European Conference on Artificial Intelligence*. 1990. P. 655-660.
101. Van Marcke K. *Instructional expertise* // *Proc. of the Second International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Springer, 1992. P. 234-243.
102. Van Marcke K. GTE: An epistemological approach to instructional modelling // *Instructional Science*. 1998. V. 26, N. 3. P. 147-191.
103. Vassileva J. Dynamic CAL-courseware generation within an ITS-shell architecture // *Proc. of the International Conference on Computer Assisted Learning ICCAL / Lecture Notes in Computer Science*. 1992. V. 602. P. 581-591.
104. Vassileva J. Dynamic courseware generation: at the cross point of CAL, ITS and authoring // *Proc. of ICCE*. 1995. P. 290-297.
105. Vassileva J. DCG+ GTE: Dynamic courseware generation with teaching expertise // *Instructional Science*. 1998. V. 26, N. 3. P. 317-332.
106. Vassileva J., Wasson B. *Instructional planning approaches: From tutoring towards free learning* // *Proc. of EuroAIED96*. 1996. P. 1-8.
107. Weber G. *Episodic Learner Modeling* // *Cognitive Science*. 1996. Vol.20, N. 2. P. 195-236.
108. Weber G., Kuhl H.C., Weibelzahl S. Developing adaptive internet based courses with the authoring system NetCoach // *Hypermedia: Openness, Structural Awareness, and Adaptivity*. 2002. P. 222-223.
109. Weber G., Moellenberg A. *ELM-Programming- Environment: A Tutoring System for LISP Beginners* // *Cognition and Computer Programming* / Eds. Wender K. F., Schmalhofer F., and Böcker H.-D. Norwood, NJ: Ablex, 1995. P. 373-408.
110. Wiley D.A. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy // *The instructional use of learning objects*. 2000. V. 2830, N. 435. P. 1-35.
111. Zhu F., Cao J. Learning activity sequencing in personalized education system // *Wuhan University Journal of Natural Sciences*. 2008. V. 13, N. 4. P. 461-465.

