

# Нечеткое моделирование разнородных знаний в интеллектуальных обучающих системах

*Статья посвящена разработке формализованной модели представления разнородных предметных знаний для интеллектуальных обучающих систем в условиях неопределенности. Подобное моделирование позволит уже на стадии проектирования информационной системы избежать возникновения ошибок экспертов при определении критериев оценки компетентности, вариантов индивидуальных траекторий обучения, требований к типам и количеству форм представления знаний и тестовых заданий.*

**Ключевые слова:** модель представления разнородных знаний, интеллектуальные обучающие системы, оценка компетентности, системы управления знаниями.

## FUZZY MODELING OF HETEROGENEOUS KNOWLEDGE IN INTELLECTUAL EDUCATIONAL SYSTEMS

*The article is devoted to development of formalized representation model for intellectual educational systems knowledge base definition in an uncertain conditions. Such modeling will enable at the design stage of the information knowledge management system to avoid errors of experts in determining the evaluation criterion of competence, the options of individual training trajectories, requirements for the types and number of knowledge representation forms and test tasks.*

**Keywords:** model of heterogeneous knowledge representation, intelligent educational systems, assessment of competence, knowledge management systems.

### Введение

Основным требованием к современным учебным ресурсам, используемым в обучающих системах управления знаниями, является способность адаптироваться к конкретным задачам обучения, уровню компетентности и индивидуальным характеристикам личности обучаемого [1]. Данная задача решается за счет модульности электронных образовательных ресурсов, что позволяет впоследствии легко выстраивать траекторию обучения. Для устранения недостатка отсутствия связей между автономными модулями применяется интегрирующая среда управления знаниями на основе предметных онтологий, являющихся совокупностью понятий в области знаний и отношений между ними, включая также способы интерпретации понятий и отношений. В этом случае межпо-

нятийные отношения выражаются дугами-ссылками вершин-понятий (концептов) онтологии.

В онтологической структуре знаний должны быть отражены парадигматические отношения понятий, независимые от контекста решаемой проблемы, и переменные синтагматические отношения понятий, возникающие в некотором контексте решения проблемы. Среди парадигматических можно выделить отношения синонимии, омонимии, полисемии, обобщения, агрегации, ролевых ассоциаций и т.д., которые трансформируют словарь в тезаурус [2]. Синтагматические отношения отражаются в виде семантических ограничений, правил и аксиом.

Рассмотрим интеллектуальную обучающую систему управления знаниями (ИОСУЗ) как программу, основанную на знаниях эксперта

и реализующую некоторую педагогическую цель в определенной предметной области знаний с учетом индивидуальных особенностей и имеющихся компетенций обучаемого. С этой точки зрения актуальной является проблема совершенствования существующих средств представления знаний эксперта, которые могут базироваться на онтологическом анализе и классификации знаний.

### 1. Композиционная схема базы знаний ИОСУЗ

Рассмотрим слагаемые наиболее значимых составляющих базы знаний ИОСУЗ. В представленной на рис. 1 композиционной схеме одной из наиболее значимых составляющих, имеющих отношение к модели личности обучаемого, является множество уже имеющихся у него компетенций в рассматрива-



**Юрий Алексеевич Кравченко,**  
к.т.н., доцент  
Тел.: (8634) 371651  
Эл. почта: [krav-jura@yandex.ru](mailto:krav-jura@yandex.ru)  
Южный федеральный университет  
[www.sfedu.ru](http://www.sfedu.ru)

**Yury A. Kravchenko,**  
Candidate of Science, Associate  
Professor  
Tel.: (8634) 371651  
E-mail: [krav-jura@yandex.ru](mailto:krav-jura@yandex.ru)  
Southern federal university,  
[www.sfedu.ru](http://www.sfedu.ru)



**Виктория Викторовна Бова,**  
ст. преподаватель  
Тел.: (8634) 371651  
Эл. почта: [vvbova@yandex.ru](mailto:vvbova@yandex.ru)  
Южный федеральный университет  
[www.sfedu.ru](http://www.sfedu.ru)

**Victoriya V. Bova,**  
senior Lecturer  
Tel.: (8634) 371651  
E-mail: [vvbova@yandex.ru](mailto:vvbova@yandex.ru)  
Southern federal university,  
[www.sfedu.ru](http://www.sfedu.ru)

емой области знаний. Под данным множеством будем понимать осведомленность эксперта о качестве сформированной системы знаний и навыков обучаемого. Состав и структура имеющихся компетенций динамичны изменяются в процессе обучения и предназначены для адаптации ИОСУЗ к конкретному обучаемому [3–8].

Педагогическая составляющая содержит в себе закономерности обучения конкретному учебному курсу, сочетающие на основе заданных правил знания эксперта в данной предметной области (*разнородные знания*) и о методике обучения (*форма представления знаний*), необходимой для определения способа адаптации предметных знаний к *индивидуальным характеристикам* обучаемого. Индивидуальные характеристики могут быть заданы любыми известными психологическими моделями, в данной работе рассматриваются модели стилей и способов мышления.

Под *разнородными знаниями* подразумеваются все предметные знания эксперта о составе и структуре учебного ресурса, представленного в ИОСУЗ с целью получения обучаемым необходимого уровня составляющих компетентности в данной области знаний. Адаптивный процесс обучения требует планирования учебных воздействий на основе сочетания разнородных предметных знаний, имеющихся компетенций и индивидуальных характеристик.

## 2. Построение модели содержательной части разнородных предметных знаний

Учебный ресурс в ИОСУЗ представляет собой набор дидактических единиц (ДЕ) – тематически завершенных блоков, отражающих содержание и составляющих логическую цепочку элементов учебного контента. Отношения между ДЕ отражают структуру учебной дисциплины. В таком контексте разнородные предметные знания представляют собой систему знаний, элементами которой являются ДЕ, а отношениями – знания о составе и структурных свойствах учебной дисциплины [3]. Обозначим множество дидактических единиц (ДЕ) через  $D$ , а их структурные отношения – через  $R$ , тогда можно определить структурное бинарное отношение  $R \subset D \times D$ .

Множество дидактических единиц и структурные (системные) отношения между ними формируются экспертом, разрабатывающим электронный образовательный ресурс (ЭОР). Базовыми дидактическими единицами в ЭОР являются тематические разделы  $T$ , где  $T$  – конечное, дискретное, упорядоченное множество. Тогда базовую структуру разнородных предметных знаний опишем бинарным отношением  $R_i \subset T \times T$ , где  $(t_i, t_j) \in R_i, i \in [1, n], j \in [1, n], i \neq j$ , если содержание темы  $t_i$  раскрывает содержание темы  $t_j$  [3–5]. Для определения уровня профессиональных умений и навыков,

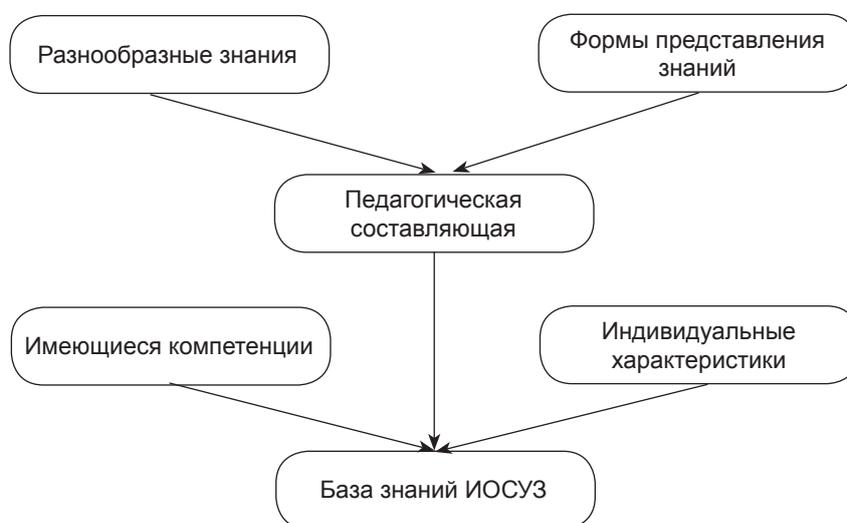


Рис. 1. Композиционная схема базы знаний ИОСУЗ

получаемых обучаемым в случае успешного учебного процесса, выделим множество компетенций  $k_w$ , составляющих компетентность  $K$ , которую будем считать целью обучения. Достижение поставленной цели в ИОСУЗ определяет успешность процесса обучения. Наличие множества тематических разделов позволяет выделить ряд целей, что даст возможность эксперту адаптировать ЭОР под различные траектории обучения. Поэтому целесообразно задать множества максимальных и минимальных целей обучения (верхней и нижней границы) и установить функции принадлежности тематических разделов. Учитывая наличие неопределенности при определении принадлежности, обусловленной отсутствием четкого соответствия некоторых тем сформированным целям, будем использовать методологию нечеткого моделирования.

Определим некоторое упорядоченное множество  $P = [0, 1]$  – как множество принадлежностей. При этом функциями принадлежности  $\mu_{\widetilde{min}}(t)$  и  $\mu_{\widetilde{max}}(t)$  будем считать отображения  $\mu_{\widetilde{min}} : T \rightarrow P$  и  $\mu_{\widetilde{max}} : T \rightarrow P$  соответственно, характеризующие степень принадлежности темы минимальной (максимальной) цели обучения и устанавливаемые экспертом при формировании ЭОР. Тогда нечеткое множество «минимальная цель обучения» будет иметь вид

$$\widetilde{MIN} = \{t, \mu_{\widetilde{min}}(t)\},$$

а нечеткое множество «максимальная цель обучения» –

$$\widetilde{MAX} = \{t, \mu_{\widetilde{max}}(t)\}.$$

Данные, включаемые в указанные нечеткие множества  $\widetilde{MIN} \subset T$  и  $\widetilde{MAX} \subset T$ , конечны, дискретны и небольшой мощности, поэтому множества задаются путем явного перечисления тем из множества тематических разделов  $T$  и соответствующих темам значений функций принадлежности.

Для придания ЭОР свойства адаптивности необходимо расширить содержательную часть рассматриваемых тем дополнительной частью, включающей в себя различные альтернативные формы

представления учебного материала. Данные альтернативные формы связаны с индивидуальными траекториями обучения и различаются способами представления знаний, степенью подробности и глубины, что и позволяет адаптировать содержание тематического раздела к различному уровню подготовки обучаемого и его индивидуальным характеристикам. При этом все альтернативные формы представления учебного материала включают в себя базовое содержание темы, необходимое для получения должного уровня знаний всеми обучаемыми независимо от их уровня подготовки.

Для описания альтернативных форм представления учебного материала введем дискретное, конечное и строго упорядоченное множество  $F$ . Тогда при формировании учебной дисциплины эксперт сможет задать отношение  $R_f \subset F \times T$  – «форма представления знаний», такое, что  $(f, t) \in R_f$ , если содержание формы представления  $f$  согласовано с содержанием темы  $t$ . Альтернативные формы представления учебного материала можно представить в различных уровнях трудности. Неопределенность в данном случае возникает при экспертной оценке степени сложности каждой формы. Для адекватного представления экспертной оценки используем методологию нечеткого моделирования.

Нечеткое отношение «сложная форма представления знаний» обозначим следующим образом:

$$\widetilde{R}_f \subset R_f, \widetilde{R}_f = \{(f, t), \mu_{\widetilde{R}_f}(f, t)\}.$$

Функция принадлежности  $\mu_{\widetilde{R}_f}(f, t)$  является отображением  $\mu_{\widetilde{R}_f} : R_f \rightarrow P$ , характеризующим степень сложности каждой альтернативной формы представления темы. Нечеткое множество  $\widetilde{R}_f$  может задаваться экспертом путем перечисления всех кортежей и соответствующих им значений функции принадлежности.

Формы представления учебного материала напрямую связаны с понятием индивидуальной траектории обучения, позволяющей формировать наиболее удобную и эффективную цепочку учебных воздействий с точки зрения «субъект-субъектного» подхода,

учитывающего индивидуальные особенности и уровень подготовки обучаемого.

Зададим набор возможных траекторий обучения конечным, дискретным и строго упорядоченным множеством  $TR$ . Теперь по аналогии с описанием альтернативных форм представления учебного материала опишем отношение  $R_{tr} \subset TR \times F$  – «траектория обучения», такое, что  $(tr, f) \in R_{tr}$ , если содержание траектории  $tr$  включает в себя форму представления  $f$ .

Нечеткое отношение «индивидуальная траектория обучения» обозначим следующим образом:

$$R_{tr} \subset R_{tr}, \widetilde{R}_{tr} = \{(tr, f), \mu_{\widetilde{R}_{tr}}(tr, f)\}.$$

По аналогии с описанием форм представления учебного материала функция принадлежности  $\mu_{\widetilde{R}_{tr}}(tr, f)$  является отображением  $\mu_{\widetilde{R}_{tr}} : R_{tr} \rightarrow P$ , характеризующим степень сложности каждой альтернативной формы представления темы. Нечеткое множество  $\widetilde{R}_{tr}$  может задаваться экспертом путем перечисления всех кортежей и соответствующих им значений функции принадлежности.

Описанную выше содержательную часть модели разнородных предметных знаний представим конечным дискретным множеством дидактических единиц  $D_1 = T \cup F \cup TR$ . Совокупность выделенных по функциональному признаку непересекающихся подмножеств  $N_1 = \{T, F, TR\}$  является покрытием множества  $D_1$ . Множества тем, форм представления знаний, траекторий обучения не пересекаются, так как имеют взаимоисключающие функциональные свойства. Поэтому совокупность  $N_1$  также является разбиением множества  $D_1$ , задающим отношение эквивалентности по функциональному признаку  $N_{1D_1}$ .

Структуру дидактических единиц на этапе описания содержательной части модели представления разнородных предметных знаний охарактеризуем антирефлексивным, асимметричным и транзитивным бинарным отношением  $R_1 \subset D_1 \times D_1$ . Обозначим совокупность непересекающихся подотношений смысловой нагрузки структурной связи  $V_1 = \{R_t, R_f, R_{tr}\}$ . Совокупность  $V_1$  является разбиением отношения  $R_1$ , задающим на

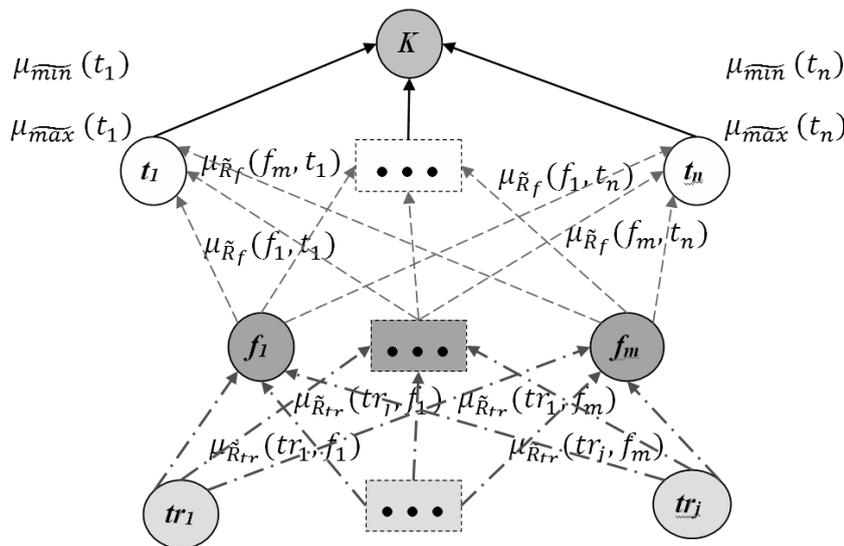


Рис. 2. Модель содержательной части разнородных предметных знаний

$R_1$  отношение эквивалентности по функциональной нагрузке структурной связи  $V_{1R_1}$ .

Состав и структуру содержательной части знаний о дисциплине опишем на основе нечеткого ориентированного графа  $\tilde{G}_1 = (D_1, R_1, \mu_{\tilde{G}_1}(d_1), \mu_{\tilde{G}_1}(r_1))$ , изображенного на рис. 2.

Помимо описанного выше, ЭОР должен включать в себя материалы тестирования, предназначенные для контроля знаний обучаемого. Тестовое задание должно быть четко задано, относиться к конкретной предметной области, требовать определенного ответа или выполнения некоторого алгоритма действий [3,6–8].

### 3. Построение модели тестовой части разнородных предметных знаний

Рассмотрим случай представления тестовых заданий в виде вопросно-ответных структур с разбиением вопросов на подвопросы и возможностью получения подсказки в виде дополнительного информационного материала.

Зададим  $QUES$  – множество вопросов,  $ANSW$  – множество ответов,  $HELP$  – множество подсказок. Данные множества являются конечными, дискретными и строго упорядоченными. Определим формально отношения между названными дидактическими единицами:

1)  $R_{ques} \subset QUES \times T$  – отношение «вопрос – тема», где  $(ques, t) \in R_{ques}$ ,

если вопрос  $ques \in QUES$  контролирует знание темы  $t \in T$ ;

2)  $R_{ques}^* \subset QUES \times QUES$  – отношение «подвопрос – вопрос», где  $(ques_i, ques_j) \in R_{ques}^*$ ,  $i \in [1, m]$ ,  $j \in [1, m]$ ,  $i \neq j$ , если вопрос  $ques_i$  входит в состав вопроса  $ques_j$ ;

3)  $R_{answ} \subset ANSW \times QUES$  – отношение «ответ – вопрос», где  $(answ, ques) \in R_{answ}$ , если ДЕ  $answ \in ANSW$  указана в качестве ответа на вопрос  $ques \in QUES$ ;

4)  $R_{help} \subset HELP \times QUES$  – отношение «подсказка – вопрос», где  $(help, ques) \in R_{help}$ , если ДЕ  $help \in HELP$  содержит дополнительную информацию по вопросу  $ques \in QUES$ .

Для обеспечения гибкости проводимого тестирования учтем возможность задания вопросов по каждой из тем с различной степенью сложности. Определим нечеткое отношение «сложность вопроса темы» выражением:

$$\tilde{R}_{ques} \subset R_{ques}, \tilde{R}_{ques} = \{(ques, t), \mu_{\tilde{R}_{ques}}(ques, t)\}.$$

Введение функции принадлежности  $\mu_{\tilde{R}_{ques}}(ques, t)$ , являющейся отображением  $\mu_{\tilde{R}_{ques}}: R_{ques} \rightarrow P$ , позволит дифференцировать оценку знаний обучаемого в соответствии со степенью сложности вопроса по теме.

Необходимо также дать возможность обучающему учитывать, помимо правильных, частично верные ответы, корректируя позже траекторию обучения в соответствии с выявленными проблемами в

знаниях обучаемого. Для этого введем нечеткое отношение «степень правильности ответа»:

$$\tilde{R}_{answ} \subset R_{answ}, \tilde{R}_{answ} = \{(answ, ques), \mu_{\tilde{R}_{answ}}(answ, ques)\}.$$

Степень правильности ответа на вопрос характеризует функция принадлежности  $\mu_{\tilde{R}_{answ}}(answ, ques)$ , являющаяся отображением  $\mu_{\tilde{R}_{answ}}: R_{answ} \rightarrow P$ .

Помощь в виде подсказок к вопросам может с различной степенью подробности раскрывать их содержание. Обозначим нечеткое отношение «степень подробности подсказки» в виде выражения:

$$\tilde{R}_{help} \subset R_{help}, \tilde{R}_{help} = \{(help, ques), \mu_{\tilde{R}_{help}}(help, ques)\}.$$

Соответственно, функция принадлежности  $\mu_{\tilde{R}_{help}}(help, ques)$ , характеризующая степень подробности подсказки, будет отображением  $\mu_{\tilde{R}_{help}}: R_{help} \rightarrow P$ .

Нечеткие отношения  $\tilde{R}_{ques}$ ,  $\tilde{R}_{answ}$ ,  $\tilde{R}_{help}$  устанавливаются экспертом путем явного перечисления всех кортежей и соответствующих им значений функции принадлежности, так как носители данных нечетких отношений конечны, дискретны, с относительно небольшим числом элементов.

Тестовую часть модели разнородных предметных знаний представим конечным дискретным множеством дидактических единиц  $D_2 = QUES \cup ANSW \cup HELP$ . Совокупность выделенных по функциональному признаку непересекающихся подмножеств  $N_2 = \{QUES, ANSW, HELP\}$  является покрытием множества  $D_2$ . Множества вопросов, ответов и подсказок не пересекаются, так как имеют взаимоисключающие функциональные свойства. Поэтому совокупность  $N_2$  также является разбиением множества  $D_2$ , задающим отношение эквивалентности по функциональному признаку  $N_2 D_2$ .

Структуру дидактических единиц на этапе описания тестовой части модели представления разнородных предметных знаний охарактеризуем антирефлексивным, асимметричным и транзитивным бинарным отношением  $R_2 \subset D_2 \times D_2$ . Обозначим совокупность непересе-

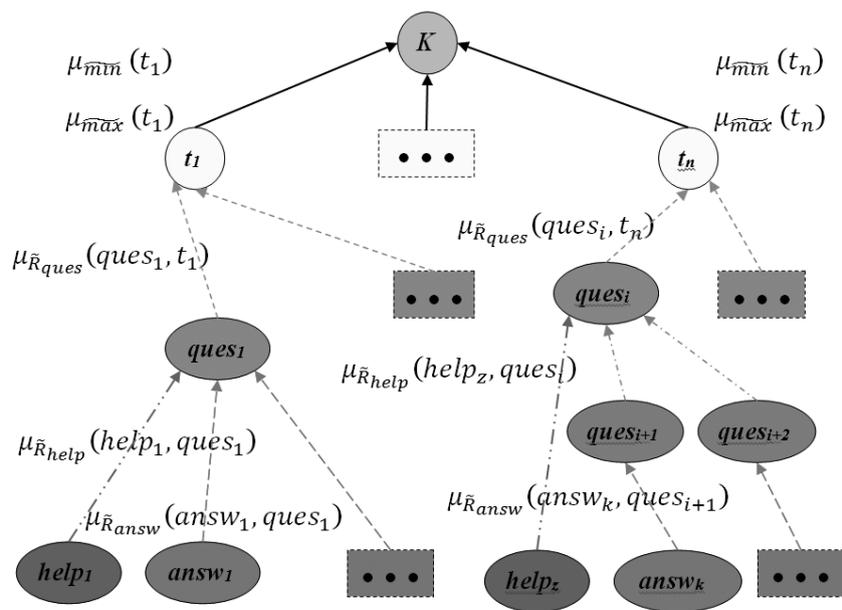


Рис. 3. Модель тестовой части разнородных предметных знаний

секающихся подотношений смысловой нагрузки структурной связи тестовой части модели  $V_2 = \{R_{ques}, R_{ques}^*, R_{answ}, R_{help}\}$ . Совокупность  $V_2$  является разбиением отношения  $R_2$ , задающим на  $R_2$  отношение эквивалентности по функциональной нагрузке структурной связи  $V_{2R_2}$ .

Состав и структуру содержательной части знаний о дисциплине опишем на основе нечеткого ориентированного графа  $\tilde{G}_2 = (D_2, R_2, \mu_{\tilde{G}_2}(d_2), \mu_{\tilde{G}_2}(r_2))$ , изображенного на рис. 3.

Опишем конечное дискретное множество дидактических единиц  $D = D_1 \cup D_2 = T \cup F \cup TR \cup QUES \cup ANSW \cup HELP$ . Совокупность выделенных по функциональному

признаку непересекающихся подмножеств  $N = N_1 \cup N_2 = \{T, F, TR, QUES, ANSW, HELP\}$  является покрытием множества  $D$ . Множества тем, форм представления знаний, траекторий обучения, вопросов, ответов и подсказок не пересекаются, так как имеют взаимоисключающие функциональные свойства. Поэтому совокупность  $N$  также является разбиением множества  $D$ , задающим отношение эквивалентности по функциональному признаку  $N_D$ .

### Заключение

Данная работа посвящена решению важной проблемы моделирования разнородных предметных

знаний при создании интеллектуальных обучающих систем управления знаниями. Рассмотренные в работе модели содержательной и тестовой составляющих композиционной схемы базы знаний ИОСУЗ позволяют построить интегрированную модель представления разнородных знаний, так как ранее определено, что структуру дидактических единиц характеризует антирефлексивное, асимметричное и транзитивное бинарное отношение  $R \subset D \times D$ . Обозначив совокупность непересекающихся подотношений смысловой нагрузки структурной связи интегрированной модели разнородных предметных знаний  $V = V_1 \cup V_2 = \{R_t, R_f, R_{tr}, R_{ques}, R_{ques}^*, R_{answ}, R_{help}\}$ , получим разбиение отношения  $R$ , задающим на  $R$  отношение эквивалентности по функциональной нагрузке структурной связи  $V_R$ .

Предложенная формализованная модель представления разнородных предметных знаний позволяет в условиях неопределенности задать базу знаний ИОСУЗ с учетом особенностей учебного материала и индивидуальных характеристик обучаемого. Подобное моделирование позволит уже на стадии проектирования информационной системы избежать возникновения ошибок экспертов при определении критериев оценки компетентности, вариантов индивидуальных траекторий обучения, требований к типам и количеству форм представления знаний и тестовых заданий.

### Литература

1. Норенков И.П. Онтологические методы синтеза электронных учебных пособий // Научно-практический журнал «Открытое образование». – М.: CAPITALPRESS. – 2010. – № 6. – С. 39–44.
2. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2003. – 26 с.
3. Денисова И.Ю. Математические модели онтологии базы знаний информационной обучающей системы / И.Ю. Денисова, П.П. Макарычев // Научный журнал «Онтология проектирования». – Самара: Новая техника, 2012. – № 3(5). – С. 62–78.
4. Курейчик В.В. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами / В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, С.И. Родзин // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – № 4 (93). – С. 16–25.
5. Родзин С.И. Гибридные интеллектуальные системы на основе алгоритмов эволюционного программирования // Новости искусственного интеллекта. – 2000. – № 3. – С. 159–170.
6. Курейчик В.М., Родзин С.И. Компьютерный синтез программных агентов и артефактов // Программные продукты и системы. – 2004. – № 1. – С. 23–27.
7. Бова В.В. Модели предметных знаний на основе системно-когнитивного анализа // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – Т. (120), № 7. – С. 146–153.
8. Бова В.В. Методы поддержки принятия решений в построении адаптивных моделей образовательных процессов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – Т. (81), № 4. – С. 221–225.