

**Chernyshev Yury Olegovich** – Don State Technical University; e-mail: myvnn@list.ru; 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russia; phone: +78632738582; the department of automation of productions; professor.

**Vencov Nikolay Nikolaevich** – e-mail: vencov@list.ru; the department of information technologies; associate professor.

**Mukhtarov Sergey Arturovich** – Branch of Military academy of communication (Krasnodar); e-mail: samucht@list.ru; 4, Krasina street, Krasnodar, 350035, Russia; competitor.

УДК 002.53:004.89

**Ю.А. Кравченко**

### **ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ\***

*Статья посвящена разработке формализованной модели представления разнородных предметных знаний для интеллектуальных обучающих систем в условиях неопределенности. Подробно рассмотрены модели содержательной и тестовой частей разнородных предметных знаний. Состав и структура интегрированной модели разнородных данных описаны на основе нечеткого ориентированного графа. 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.*

*Модель представления разнородных знаний; интеллектуальные обучающие системы; оценка компетентности; системы управления знаниями.*

**Yu.A. Kravchenko**

### **INTEGRATED MODEL OF KNOWLEDGE REPRESENTATION BASED ON FUZZY MODELING METHOD**

*The article is devoted to development of formalized representation model for intellectual educational systems knowledge base definition in an uncertain conditions. The content model and test parts of heterogeneous domain knowledge were considered in detail. The composition and structure of heterogeneous data integrated model were described on the basis of fuzzy directed graph. Such modeling will enable at the design stage of the information knowledge management system to avoid errors of experts in determining the evaluation criterions of competence, the options of individual training trajectories, requirements for the types and number of knowledge representation forms and test tasks.*

*Model of heterogeneous knowledge representation; intelligent educational systems; assessment of competence; knowledge management systems.*

**Введение.** Информационная составляющая содержит в себе закономерности конкретного учебного контента, 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.

---

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 11-07-00064).

Под *разнородными знаниями* подразумеваются все предметные знания эксперта о составе и структуре учебного ресурса, представленного в интеллектуальной обучающей системе управления знаниями (ИОСУЗ) с целью получения обучаемым необходимого уровня составляющих компетентности в данной области знаний.

**1. 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 знаний представляют собой систему знаний, элементами которой являются ДЕ, а отношениями – знания о составе и структурных свойствах учебной дисциплины [1–3]. 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. Базовая структура разнородных знаний описывается отношением  $R_t \subset T \times T$ , где  $(t_i, t_j) \in R_t, i \in [1, n], j \in [1, n], i \neq j$ , если содержание темы  $t_i$  раскрывает содержание темы  $t_j$  [3–5]. Для определения уровня профессиональных умений и навыков, получаемых обучаемым в случае успешного учебного процесса, выделим множество компетенций  $k_n$ , составляющих компетентность  $K$ , которую будем считать целью обучения. 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  $\mu_{\overline{min}}(t)$  и  $\mu_{\overline{max}}(t)$  будем считать отображения  $\mu_{\overline{min}} : T \rightarrow P$  и  $\mu_{\overline{max}} : T \rightarrow P$  соответственно, характеризующие степень принадлежности темы минимальной (максимальной) цели обучения и устанавливаемые экспертом при формировании ЭОР. Тогда нечеткое множество «минимальная цель обучения» будет иметь вид:

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

а нечеткое множество «максимальная цель обучения»:

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

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

Для 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  $t$ .

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

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

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

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:

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

По аналогии с описанием форм представления учебного материала функция принадлежности  $\mu_{\tilde{R}_{tr}}(tr, f)$  является отображением  $\mu_{\tilde{R}_{tr}}: R_{tr} \rightarrow P$ , характеризующим степень сложности каждой альтернативной формы представления темы. Нечеткое множество  $\tilde{R}_{tr}$  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 [3, 6–12]. 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 разнородных предметных знаний охарактеризуем 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  $R_1$  отношение эквивалентности по функциональной нагрузке структурной связи  $V_{1R_1}$ .

Состав и структуру содержательной части знаний о дисциплине представим в виде нечеткого ориентированного графа  $\tilde{G}_1 = (D_1, R_1, \mu_{\tilde{G}_1}(d_1), \mu_{\tilde{G}_1}(r_1))$ .

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

Зададим  $QUES$  – множество вопросов,  $ANSW$  – множество ответов,  $HELP$  – множество подсказок. Определим формально отношения между названными дидактическими единицами:  $R_{ques} \subset QUES \times T$  – отношение «вопрос-тема», где  $(ques, t) \in R_{ques}$ , если вопрос  $ques \in QUES$  контролирует знание темы  $t \in T$ ;  $R_{ques}^* \subset QUES \times QUES$  – 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  $ques_j$ ;  $R_{answ} \subset ANSW \times QUES$  – отношение «ответ-вопрос», где  $(answ, ques) \in R_{answ}$ , если ДЕ  $answ \in ANSW$  указана в качестве ответа на вопрос  $ques \in QUES$ ;

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

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.

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. 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  $D_2$ .

Структуру дидактических единиц на этапе описания тестовой части модели представления разнородных предметных знаний охарактеризуем антирефлексивным, ассиметричным и транзитивным бинарным отношением  $R_2 \subset D_2 \times D_2$ . Обозначим совокупность непересекающихся 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 представим в виде нечеткого ориентированного графа  $\tilde{G}_2 = (D_2, R_2, \mu_{\tilde{G}_2}(d_2), \mu_{\tilde{G}_2}(r_2))$ .

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  $D$ .

**3. Построение интегрированной модели представления разнородных знаний.** Ранее определено, что структуру дидактических единиц характеризует антирефлексивное, ассиметричное и транзитивное бинарное отношение  $R \subset D \times D$ . Обозначим совокупность непересекающихся подотношений смысловой нагрузки структурной связи интегрированной модели разнородных предметных знаний  $V = V_1 \cup V_2 = \{R_t, R_f, R_{tr}, R_{ques}, R_{ques}^*, R_{answ}, R_{help}\}$ . Совокупность  $V$  является разбиением отношения  $R$ , задающим на  $R$  отношение эквивалентности по функциональной нагрузке структурной связи  $V_R$ . Состав и структуру знаний о дисциплине опишем на основе нечеткого ориентированного графа  $\tilde{G} = (D, R, \mu_{\tilde{G}}(d), \mu_{\tilde{G}}(r))$ , изображенного на рис. 1.

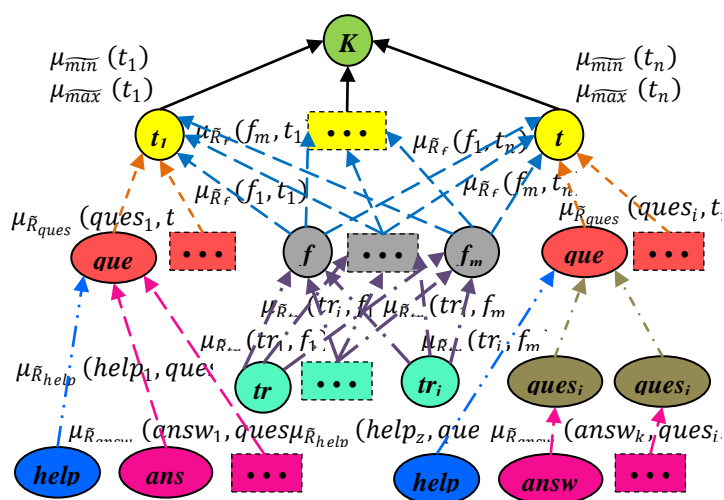


Рис. 1. Интегрированная модель представления разнородных предметных знаний

Качественный уровень представлений эксперта об изучаемой дисциплине формально описывают нечеткие множества минимальной и максимальной целей обучения  $\overline{MIN} \subset T, \overline{MAX} \subset T$  и нечеткие отношения  $\tilde{R}_f \subset R_f, \tilde{R}_{tr} \subset R_{tr}, \tilde{R}_{ques} \subset R_{ques}, \tilde{R}_{answ} \subset R_{answ}, \tilde{R}_{help} \subset R_{help}$ . Нечеткий ориентированный граф  $G$  представляет структуру базы знаний ИОСУЗ. Множество вершин графа отображает совокупность дидактических единиц области знаний, множество дуг – описанные выше структурные отношения.

**Заключение.** Данная работа посвящена решению важной проблемы моделирования разнородных предметных знаний при создании интеллектуальных обучающих систем управления знаниями.

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.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Норенков И.П.* Онтологические методы синтеза электронных учебных пособий // Научно-практический журнал «Открытое образование». – 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., Макарычев П.П.* Математические модели онтологии базы знаний информационной обучающей системы // Научный журнал «Онтология проектирования». – 2012. – № 3 (5). – С. 62-78.
4. *Кравченко Ю.А.* Принятие решений в информационных системах на основе нечеткого моделирования // Российская академия наук. Научный журнал. Известия КБНЦ РАН. – 2013. – № 1 (51). – С. 21-26.

5. Курейчик В.В., Родзин С.И. О правилах представления решений в эволюционных алгоритмах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 13-21.
6. Курейчик В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 92-98.
7. Курейчик В.М., Кажаров А.А. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 30-37.
8. Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Новые подходы к построению систем анализа и извлечения знаний на основе гибридных методов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 146-154.
9. Бова В.В. Методы поддержки принятия решений в построении адаптивных моделей образовательных процессов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 4 (81). – С. 221-225.
10. Кравченко Ю.А. Метод создания математических моделей принятия решений в много-агентных подсистемах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 141-145.
11. Курейчик В.М. Биоинспирированный поиск с использованием сценарного подхода // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 7-13.
12. Родзин С.И. Вычислительный интеллект: немонотонные логики и графическое представление знаний // Программные продукты и системы. – 2002. – № 1. – С. 20-22.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор М.М. Ошхунов.

**Кравченко Юрий Алексеевич** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: krav-jura@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

**Kravchenko Yury Alekseevich** – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: krav-jura@yandex.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; associate professor.

УДК 658.512.2.011.5

**Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова**

## **РЕШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ\***

*Рассматриваются новые подходы к решению динамических транспортных задач. Такого рода задачи относятся к классу NP-сложных задач и для их эффективного решения постоянно разрабатываются и совершенствуются различные методы, основанные на использовании различных эвристик. В статье описаны новые подходы к решению подобных задач на основе гибридных интеллектуальных моделей и методов. Например, использование модели нечеткого логического контроллера для динамического изменения управляющих параметров задачи. Также представлены модели решения задач оптимизации на основе роевых методов, в том числе муравьиных алгоритмов.*

*Динамическая транспортная задача; эволюционные вычисления; нечеткий генетический алгоритм; методы роевого интеллекта.*

---

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты: № 13-07-12091, № 11-01-00122).