

**Филатов В.А.**

д.т.н., профессор,  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
заведующий кафедрой искусственного интеллекта  
Харьков, Украина  
valentin.filatov@nure.ua

**Волощук Е.Б.**

к.т.н.,  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
доцент кафедры искусственного интеллекта  
Харьков, Украина  
olena.voloshchuk@nure.ua

**Спивак Н.О.**

магистр,  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
аспирант кафедры искусственного интеллекта  
Харьков, Украина  
mykyta.spivak@nure.ua

**РЕАЛИЗАЦИЯ И ПОДДЕРЖКА НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ  
СРЕДСТВАМИ РЕЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ**

**Аннотация.** В статье предложен подход к разработке реляционной модели представления и хранения нечетких данных, исследованы условия расширения основных операций реляционной алгебры для класса систем, спроектированных на основе нечеткой логики. Исследована возможность применения систем управления баз данных на основе классической реляционной модели для интеллектуальных систем с элементами нечеткой логики.

**Ключевые слова:** базы данных, расширение операций реляционной алгебры, фаззификация отношений баз данных  
Формул: 18, рис.: 4, табл.: 0, библи.: 11

**Valentin Filatov**

Doctor of Science (Engineering), Professor,  
Kharkov National University of Radioelectronics,  
Head of Artificial Intelligence Department  
Kharkiv, Ukraine  
valentin.filatov@nure.ua

**Elena Voloshchuk**

PhD (Engineering),  
Kharkov National University of Radioelectronics,  
Associate Professor at Department of Artificial Intelligence  
Kharkiv, Ukraine  
olena.voloshchuk@nure.ua

**Nikita Spivak**

Master's degree,  
Kharkov National University of Radioelectronics,  
graduate student at Department of Artificial Intelligence  
Kharkiv, Ukraine  
mykyta.spivak@nure.ua

## IMPLEMENTATION AND SUPPORT FUZZY SYSTEMS BY MEANS THE RELATIONAL DATA MODEL

**Abstract.** This article was reviewed by the classical approach to the construction of relational relations, developed the relational model presentation and storage of fuzzy data, as well as the model of integration and fuzzy relations in relational database.

For storage of data has been identified fuzzy specialized type of relationship. Driving this relationship satisfies the two conditions: corresponds to the requirements of the classical relational data model, and efficiently stores and presents a model of linguistic variable.

Thus, the proposed terms of the expansion of basic operations of relational algebra class systems designed on the basis of fuzzy logic. Using the results obtained, it is possible to effectively use the advantages of database management systems on the basis of classical relational model for intelligent systems with elements of fuzzy logic. The use of this approach was the basis for the basic quantitative criteria for assessing the quality of higher education in the Kharkiv National University of Radio Electronics. The approach can be used as a component of self-assessment practices of higher education institutions for the comprehensive monitoring of the quality of higher education in the development of the concept of monitoring in Ukraine evaluation of higher education.

**Keywords:** databases, extensions of relational algebra operations, fuzzification on databases

Formulas: 18, fig.: 4, tabl.: 0, bibl.: 11

**Введение.** Компьютерные технологии с поддержкой интеллектуальных вычислений переживают свой расцвет. Это связано с потоком новых идей, исходящих из области компьютерных наук, которая образовалась на пересечении искусственного интеллекта и информационных технологий. Предметные области, в которых базы данных используются как источник данных, а в качестве метода их обработки – подход на основе нечетких систем, представляют интерес с практической и научной точки зрения. Поэтому сегодня проблема проектирования нечеткой модели базы данных и технология обработки абстрактной информации средствами реляционных систем становится все более актуальной.

Рассмотрим классический подход к построению реляционного отношения и выделим основные его свойства [Мейер 1987].

Основной структурной компонентой данных в реляционной модели данных (РМД) является  $n$ -арное отношение, представляющее собой подмножество кортежей декартова произведения доменов, то есть множества значений элементов данных. Для заданных конечных множеств  $D_1, \dots, D_n$  формируется декартово произведение  $D_1 \times \dots \times D_n$  вида  $d_1, \dots, d_n$ , где  $d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n$ . Тогда отношением  $R$ , определенным на множествах  $D_1, \dots, D_n$ , называется подмножество произведения  $D_1 \times \dots \times D_n$ , то есть  $R \subseteq D_1 \times \dots \times D_n$ . Множество  $D = \{D_1, \dots, D_n\}$  называется доменами. Домены – это однотипные семантически однозначные (одинаковых по смыслу) значения элементов данных. Элементы декартова произведения  $d_1, \dots, d_n$  называются кортежами, число  $n$  определяет степень отношения, количество кортежей определяет мощность отношения.

Схему отношения  $R$  определяют как  $S(A_1, \dots, A_n)$ , где все атрибуты  $A_i$  различны. При этом экземпляр отношения  $R(S)$  определяется как подмножество декартова произведения доменов. Экземпляр отношения со схемой  $R_i$  будем обозначать как  $R_i(r_i)$ . Отметим, что перестановка атрибутов в схеме не порождает нового состояния базы данных (БД). Таким образом, множество атрибутов  $\{A_1, \dots, A_n\}$  задает тип отношения и определяет его свойства. Схему БД будем обозначать как множество схем отношений  $U = \{R_1, \dots, R_n\}$ , где  $R_i \in R$  и все  $R_i$  различны. Соответственно, экземпляр БД будем обозначать как множество экземпляров отношений  $U(r_1, \dots, r_n)$ .

Концептуально реляционная БД является информационной моделью предметной области (ПО), такой, что каждый экземпляр соответствует некоторому состоянию ПО в определенный момент времени. Каждое состояние моделируется упорядоченной совокупностью значений элементов данных, соответствующих значениям свойств объектов ПО. Объекту определенного типа соответствует кортеж отношения. Объекты обладают определенным набором свойств, которые задаются схемой отношения, а свойства имеют определенные наборы возможных значений, которые задаются отображением  $\rho$ .

### 1. Разработка реляционной модели представления и хранения нечетких данных

Для решения задач хранения нечетких данных определим специализированный тип отношений. Схема такого отношения должна удовлетворять двум условиям: соответствовать классическим требованиям реляционной модели данных и рационально хранить и представлять модель лингвистической переменной (ЛП). Нечеткое множество определяется через некоторую базовую шкалу  $B$  и функцию принадлежности  $\mu(x)$ ,  $x \in B$  принимающую значения на интервале  $[0..1]$ . Таким образом, нечеткое множество  $B$  – это совокупность пар вида  $(x, \mu(x))$  где  $x \in B$ . Часто встречается и такая запись (1)

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\mu(x_i)}, \quad (1)$$

где  $x_i$  –  $i$ -е значение базовой шкалы. Функция принадлежности определяет субъективную степень уверенности эксперта в том, что данное конкретное значение базовой шкалы соответствует определяемому нечеткому множеству.

Будем понимать под нечеткой переменной набор  $(N, X, Y)$ , где  $N$  – это название лингвистической переменной,  $X$  – область рассуждений,  $Y$  – нечеткое множество на  $X$ . Используя такое определение, зададим три домена, соответствующих элементам переменной [Касаткина, Танянский, Филатов 2009].

Пусть  $N = \{n_1, \dots, n_m\}$ ,  $Y = \{0, 0.1, \dots, 1\}$ ,  $X = \{x_0, \dots, x_k\}$ . Значения  $X$  и  $Y$  соответствуют выбранной шкале дискретизации координатных осей и представляют область принадлежности к параметру  $N$ . Для рассмотренного случая, определим соответствующие домены с целью представления значений нечеткой переменной:  $D_1 = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ ,  $D_2 = \{x_0, \dots, x_m\}$ ;  $D_3 = \{0, 0.1, \dots, 1\}$ .

Зададим множество имен доменов и сформулируем отображение на множество атрибутов:

- для множества имен  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$  отображение  $\rho: (A_1 \rightarrow D_1; A_2 \rightarrow D_2; A_3 \rightarrow D_3)$  определяют множество атрибутов  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ , что соответствует схеме отношения  $S(A_1, A_2, A_3)$ . Возможные пересечения графиков значений лингвистической переменной определяют тот факт, что в общем случае значения могут повторяться относительно друг друга. Пример такого варианта представления данных показан на рис. 1.

$A_1$	$A_2$	$A_3$
$n_2$	$x_{14}$	<b>0</b>
$n_3$	$x_{14}$	<b>1</b>
$n_2$	$x_i$	<b>0,9</b>
$n_3$	$x_i$	<b>0,9</b>
$n_2$	$x_{20}$	<b>1</b>
$n_3$	$x_{20}$	<b>0</b>
...	...	...

**Рисунок 1** - Фрагмент задания параметров лингвистической переменной в табличном виде

Источник: авторская разработка

Таким образом, в общем случае, можно говорить о существовании универсального отношения, состоящего из кортежей декартова произведения доменов  $D_1 \times D_2 \times D_3$  (полное декартово произведение, в данном случае, определяется конечностью значений системы координат). Ключом такого отношения будет множество всех атрибутов  $K = (A_1, A_2, A_3)$ .

## 2. Реляционная алгебра

Доступ к реляционным данным осуществляется при помощи реляционной алгебры или эквивалентного ей реляционного исчисления. Реляционная алгебра представляет собой набор операторов, использующих отношения в качестве аргументов, и возвращающих отношения в качестве результата. Каждое отношение обязано иметь уникальное имя в пределах базы данных. Традиционно, определяют восемь реляционных операторов, объединенных в две группы. Теоретико-множественные операторы: объединение, пересечение, вычитание, декартово произведение. Специальные реляционные операторы: выборка, проекция, соединение, деление. Не все они являются независимыми, т.е. некоторые из этих операторов могут быть выражены через другие реляционные операторы.

## 3. Основные свойства расширения реляционной алгебры

Рассмотрим один из подходов к расширению операций реляционной алгебры (РРА) на отношениях фаззификации. Через  $\tilde{R}$  будем обозначать множество всех отношений фаззификации и через  $R$  - множество обычных реляционных (натуральных) отношений, чьи схемы выбираются из некоторой фиксированной схемы базы данных [Bodyanskiy, Popov, Titov 2010]. Для каждого отношения  $\tilde{r} \in \tilde{R}$  определим функцию  $Natural(\tilde{r}) = \{r\}$   $r$  - реляционное (натуральное) отношение. Эта функция будет использоваться для исследования различных расширений области действия реляционных операций на  $\tilde{R}$ . Если, например, необходимо доопределить операцию соединения на отношении с нечеткими данными, то для расширенной

операции соединения  $\triangleright \tilde{\triangleleft}$  должно выполняться равенство (2) для  $\tilde{r}, \tilde{s} \in \tilde{R}$ .

$$Natural(\tilde{r} \triangleright \tilde{\triangleleft} \tilde{s}) = Natural(\tilde{r}) \triangleright \triangleleft Natural(\tilde{s}), \quad (2)$$

Сформулируем ряд условий, необходимых для строгого выполнения расширенной операции.

*Утверждение 1.* Пусть задана операция  $\xi$ , определенная на  $R$  и операция  $\tilde{\xi}$  на  $\tilde{R}$ . Операция  $\tilde{\xi}$  является естественным расширением  $\xi$  при выполнении следующих условий:

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – унарные операции, то  $\xi(r) = \tilde{\xi}(r)$  для каждого  $r \in R$ , для которого  $\xi(r)$  определена;

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – бинарные операции, то  $r\xi s = r\tilde{\xi}s$  для каждого  $r, s \in R$ , для которого  $r\xi s$  определена.

*Утверждение 2.* Пусть заданы операция  $\xi$  на  $R$  и операция  $\tilde{\xi}$  на  $\tilde{R}$ . Операция  $\tilde{\xi}$  является точным расширением  $\xi$  относительно функции  $Natural$  при выполнении следующих условий:

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – унарные операции, то  $Natural(\tilde{\xi}(\tilde{r})) = \xi(Natural(\tilde{r}))$  для каждой  $\tilde{r} \in \tilde{R}$ ;

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – бинарные операции, то  $Natural(\tilde{r} \tilde{\xi} \tilde{s}) = Natural(\tilde{r}) \xi Natural(\tilde{s})$  для всех  $\tilde{r}, \tilde{s} \in \tilde{R}$ .

*Утверждение 3.* Пусть заданы операция  $\xi$  на  $R$  и операция  $\tilde{\xi}$  на  $\tilde{R}$ . Операция  $\tilde{\xi}$  является адекватной для  $\xi$  относительно функции  $Natural$  при выполнении следующих условий:

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – унарные операции, то  $Natural(\tilde{\xi}(\tilde{r})) \supseteq \xi(Natural(\tilde{r}))$  для каждой  $\tilde{r} \in \tilde{R}$ ;

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – бинарные операции, то  $Natural(\tilde{r} \tilde{\xi} \tilde{s}) \supseteq Natural(\tilde{r}) \xi Natural(\tilde{s})$  для всех  $\tilde{r}, \tilde{s} \in \tilde{R}$ .

*Утверждение 4.* Пусть заданы операция  $\xi$  на  $R$  и операция  $\tilde{\xi}$  на  $\tilde{R}$ . Операция  $\tilde{\xi}$  является ограниченной для  $\xi$  относительно функции  $Natural$  при выполнении следующих условий:

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – унарные операции, то для каждого  $\tilde{r} \in \tilde{R}$  не существует такого  $\tilde{s} \in \tilde{R}$ , что  $Natural(\tilde{\xi}(\tilde{r})) \supset Natural(\tilde{s}) \supseteq \xi(Natural(\tilde{r}))$ ;

- если  $\xi$  и  $\tilde{\xi}$  – бинарные операции, то для каждого  $\tilde{r}, \tilde{q} \in \tilde{R}$  не существует такого  $\tilde{s} \in \tilde{R}$ , что  $Natural(\tilde{r} \tilde{\xi} \tilde{q}) \supset Natural(\tilde{s}) \supseteq Natural(\tilde{r}) \xi Natural(\tilde{q})$ .

Очевидно, что если операция  $\tilde{\xi}$  является точным расширением  $\xi$ , то операция  $\tilde{\xi}$  адекватна и ограничена для  $\xi$ . В тех случаях, когда точное расширение невозможно, будем пользоваться адекватными и ограниченными расширениями. Также необходимо учитывать, что расширенные операции сохраняют свойства обычных реляционных операций, такие как

коммутативность и ассоциативность.

#### 4. Операционная спецификация расширений реляционной алгебры для отношений фаззификации

Рассмотрим расширения некоторых реляционных операций для отношений фаззификации. Теоретико-множественные операции, рассматриваемые в статье, являются расширением операций над нечеткими множествами, которые применяются к исходным схемам отношений  $\tilde{R}$ , в результате чего получаются новые отношения, определенные на тех же данных [Bodyanskiy, Teslenko, Grimm 2010].

Таким образом, теоретико-множественные операции будем рассматривать применительно к схемам (3).

$$\tilde{R} = \{\mu_{\tilde{R}}(x) / x\} = \tilde{R}[A(a_i)], \quad (3)$$

где  $\mu_{\tilde{R}}(x)$  - функция принадлежности и  $A(a_i) = \{a_i \mid i = \overline{1, n}\}$ ,  $x = \text{dom}(A(a_i))$ .

Основные операции РРА  $C_{\tilde{R}}(\tilde{R}[A(a_i)])$ , как правило, взаимодействуют не с одной схемой отношений, а с двумя, то есть являются бинарными. Если  $A(a_i)$  и  $B(b_i)$  - носители схем отношений  $\tilde{R}$ , то ее можно определить выражением (4).

$$C_{\tilde{R}}(\tilde{R}_A[A(a_i)]) = \tilde{R}_X[A(a_i \cup b_i)], \quad (4)$$

где  $a_i \in A, b_i \in B$ ,  $\tilde{R}_X$  - отношение, определенное на нечетком домене  $\text{dom}(A(a_i) \cup B(b_i))$ .

Функция принадлежности множества  $\tilde{R}_X$  определяется как выражение (5).

$$\mu_{\tilde{R}_X}(u, v) = \mu_{\tilde{R}_A}(u) \mid \forall (u \in \text{dom}(A(a_i)), (u, v) \in \text{dom}(a_i \cup b_i)) \quad (5)$$

Операция проекции отношения фаззификации  $\tilde{R}_A[A(a_i) \cup B(b_i)]$ , где  $\tilde{R}_A$  - отношение, определенное на нечетких доменах  $(u, v) \in \text{dom}(A(a_i)) \times \text{dom}(B(b_i))$ , на нечеткое множество  $\text{dom}(A(a_i))$ , определяется выражением (6).

$$\pi_{B_i}(\tilde{R}_A[A(a_i \cup b_i)]) = \tilde{R}_X[A(a_i)], \quad (6)$$

где  $\tilde{R}_X$  - отношение фаззификации с нечетким доменом  $\text{dom}(A(a_i))$  и функцией принадлежности (7).

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{R}_x}(u) = \max\{ & \mu_{\tilde{R}_A}(u, v) \mid u \in \text{dom}(A(a_i)), v \in \text{dom}(B(b_i)) \\ & (u, v) \in (\text{dom}(A(a_i)) \times \text{dom}(B(b_i)))\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Операция произведения отношений фаззификации  $\tilde{R}_A[A(a_i)]$  и  $\tilde{R}_B[B(b_i)]$ , где  $A(a_i) \cap B(b_i) = \emptyset$ , представлена выражением (8).

$$\tilde{R}_A[A(a_i)] \times \tilde{R}_B[B(b_i)] = C_{b_i}(\tilde{R}_A[A(a_i)]) \cap C_{a_i}(\tilde{R}_B[B(b_i)]). \quad (8)$$

Операция суммы тех же отношений фаззификации определяется объединением вида (9).

$$\tilde{R}_A[A(a_i)] + \tilde{R}_B[B(b_i)] = C_{b_i}(\tilde{R}_A[A(a_i)]) \cup C_{a_i}(\tilde{R}_B[B(b_i)]). \quad (9)$$

Операция селекции позволяет сформировать новое отношение фаззификации  $\tilde{R}_x[B(b_i)]$  по отношению  $\tilde{R}_A[A(a_i)]$  на основе проверки условия  $\theta$ , где  $\theta$  – формула, построенная с помощью операций логического сравнения ( $<$ ,  $>$ ,  $=$ ,  $\leq$ ,  $\geq$ ,  $\neq$ ) и логических связок  $\neg$  (не),  $\wedge$  (и),  $\vee$  (или).

В результате выполнения операции селекции из множества нечетких доменов  $\text{dom}(B(b_i))$  выбираются домены, удовлетворяющие ограничению (10), для которых условие  $\theta$  истинно.

$$\{d_1^1, d_2^1, \dots, d_n^1, d_1^2, d_2^2, \dots, d_m^2, \dots, d_1^p, d_2^p, \dots, d_k^p\} \subset \text{dom}(A(a_i)), \quad (10)$$

При этом функции принадлежности этих доменов не меняются. Общее выражение операции селекции можно представить в виде формулы (11).

$$\sigma_\theta(\tilde{R}_A[A(a_i)]) = \tilde{R}_x[B(b_i)]. \quad (11)$$

Операция сравнения двух отношений фаззификации  $\tilde{R}_A[A(a_i)]$  и  $\tilde{R}_B[B(b_i)]$  по операции  $\theta$  истинна, если выполняется условие  $A(a_i) \theta B(b_i)$  и справедливо выражение (12).

$$\forall u \in \text{dom}(A(a_i)) \mid \mu_{\tilde{R}_A}(u) = \mu_{\tilde{R}_B}(u). \quad (12)$$

В общем виде операцию сравнения представим выражением (13).

$$\tilde{R}_A[A(a_i)] \theta \tilde{R}_B[B(b_i)], \quad (13)$$

где  $\theta = \{<, >, =, \leq, \geq, \neq\}$ .

Операция принадлежности заключается в проверке на включение (содержание) множества  $\tilde{R}_A[A(a_i)]$  на множестве  $\tilde{R}_B[B(b_i)]$ . Операция определяет истинный результат, если  $A(a_i) = B(b_i)$  и справедливо выражение (14).

$$\forall u \in \text{dom}(A(a_i)) \mid \mu_{\tilde{R}_A}(u) \leq \mu_{\tilde{R}_B}(u). \quad (14)$$

В общем виде операцию принадлежности можно представить выражением (15).

$$\tilde{R}_A[A(a_i)] \subseteq \tilde{R}_B[B(b_i)]. \quad (15)$$

Кроме операций, советуемых реляционной алгебре, к отношениям фаззификации можно применять традиционные теоретико-множественные операции: дополнение, объединение и пересечение.

Операция дополнения на отношении фаззификации  $\tilde{R}$  для нечеткого домена позволяет получить новое отношение при выполнении ограничений вида (16).

$$-\tilde{R} = \bigcup_{u \in \tilde{R}} (1 - \mu_{\tilde{R}}(u) / u). \quad (16)$$

Операция объединения двух отношений фаззификации  $\tilde{R}_A$  и  $\tilde{R}_B$  по нечетким доменам позволяет сформировать отношение, полученное в соответствии с выражением (17).

$$\tilde{R}_A \cup \tilde{R}_B = \bigcup_{u \in \tilde{R}} \max[(\mu_{\tilde{R}_A}(u), \mu_{\tilde{R}_B}(u))] / u. \quad (17)$$

Операция пересечения двух отношений фаззификации  $\tilde{R}_A$  и  $\tilde{R}_B$  по нечетким доменам отображается в отношение, полученное в соответствии с выражением (18).

$$\tilde{R}_A \cap \tilde{R}_B = \bigcup_{u \in \tilde{R}} \min[(\mu_{\tilde{R}_A}(u), \mu_{\tilde{R}_B}(u))] / u. \quad (18)$$

## 5. Разработка модели интеграции отношения фаззификации и реляционной базы данных

Рассмотрим задачу в общем виде. Пусть  $U(R_1, \dots, R_n)$  – база данных, в которой хранятся основные данные об исследуемой предметной области,  $R^f(A_1, A_2, A_3)$  – отношение фаззификации. Задача будет иметь смысл, если в базе данных  $U$  существует атрибут, относительно которого выполнена фаззификация.

Что бы организовать совместную работу с двух баз данных  $U$  и  $R$ , формализуем процедуру интеграции, основываясь на технологии поэтапной нормализации. Структура отношения  $U$  получена на основании функциональных зависимостей  $F = \{M_i \rightarrow N_i\}$  где  $M_i, N_i \in U$ . Выделим одну из зависимостей, которая включает атрибут с параметрами фаззификации, и обозначим ее как  $W \rightarrow V$ , причем  $W$  и  $V$  в общем случае могут быть множествами. Отношение  $R^f$  содержит одну зависимость вида  $F^i = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1, A_2, A_3\}$ . Опираясь на аксиомы вывода, можно получить эквивалентное множество  $F^i = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_2; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_3\}$ .

Пусть параметр фаззификации соответствует атрибуту  $A_2$ , тогда для определения типа связи необходимо получить множество  $F = F \cup F^i$  и рассмотреть два случая, влияющих на правила нормализации [Dolotov, Bodyanskiy 2009].

1.  $A_2 \in W$  – поиск неполных зависимостей: если выполняются функциональные зависимости  $\xi \rightarrow \zeta$  и  $\omega \rightarrow \zeta$ , причем  $\omega \subseteq \xi$ , тогда зависимость  $\omega \rightarrow \zeta$  является неполной.

2.  $A_2 \in V$  – поиск транзитивно зависимых элементов: если выполняются функциональные зависимости  $\xi \rightarrow \omega$  и  $\omega \rightarrow \zeta$ , тогда элемент  $\zeta$  является транзитивно зависимым.

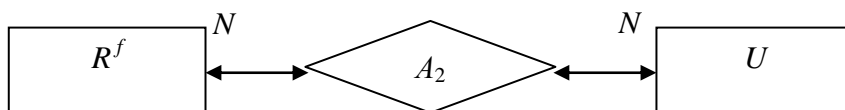
Существование таких зависимостей позволит выполнить корректную декомпозицию и установить связь между базой данной  $U$  и  $R^f$ .

Если  $A_2 = W$  или  $A_2 = V$ , то процесс декомпозиции приводит ко второй или третьей нормальной форме. Если равенства не выполняются, то организовать поддержку однозначности связанных данных нельзя, так как ассоциация между отношениями будет соответствовать типу «многие-ко-многим».

Как правило, на практике условия равенства не выполняются и для нормализации необходимо выделить базис  $F$  и повторить процедуру декомпозиции. Учитывая тот факт, что структура базы данных не должна изменяться, необходимо связать отношение фаззификации  $R^f$  и  $U$  без реструктуризации схемы данных. Используя диаграмму модели «сущность-связь», представим  $R^f$  и  $U$  в виде главных сущностей [Kokshenev, Bodyanskiy, Gorshkov, Kolodyazhniy 2006].

Для устранения связи «N:N» введем дополнительную связующую сущность, которая решит проблему поддержки целостности данных за счет определения новых типов связей. Эта сущность будет представлена в виде отношения с одним атрибутом – связующим для  $R^f$  и  $U$ , причем по объективным причинам он будет ключевым. На рис. 2 показана диаграмма интеграции исследуемой базы данных и отношения фаззификации с

поддержкой однозначности связи.



**Рисунок 2** – Диаграмма «сущность-связь»

Источник: авторская разработка

Для корректного соединения  $R^f$  и  $U$  необходимо построить промежуточное отношение. Такой подход гарантирует согласованность данных для любых типов параметров фаззификации [Bodyanskiy, Dolotov, Pliss 2009]. Покажем, что для рассматриваемой задачи вполне корректны результаты при выполнении соединения отношений с ассоциацией типа « $N:N$ ». Возможные значения атрибута  $A_2 \in U$  могут повторяться столько раз, сколько данное значение пересекает границы диаграммы фаззификации по оси ординат. То есть каждому значению атрибута  $A_1$  соответствует строка уникальных данных. Если  $A_1$  не является ключом, и значения повторяются, то по определению множества в строке должно быть хотя бы одно отличное значение. В терминах решаемой задачи необходимо проанализировать все такие строки. Значения атрибута  $A_1$  отношения  $R^f$  также могут повторяться, причем во всевозможных комбинациях [Bodyanskiy, Otto, Popov, Rybalchenko 2009].

Таким образом, в общем виде для анализа данных, накапливаемых в реляционных базах данных, достаточно построить фаззифицированное отношение и установить связь с атрибутом (атрибутами), по значениям которого необходимо провести соответствующий анализ [Филатов, Касаткина 2009].

### Пример.

Для иллюстрации разработанного подхода рассмотрим пример построения интегрированной информационной системы, объединяющей в себе реляционную базу данных и подсистему на основе нечеткой логики. В качестве объекта исследования рассматривается информационная система высшего учебного заведения. На сегодняшний день Министерством образования и науки Украины не утвержден перечень критериев и показателей оценки качества образования ВУЗов для разных уровней аккредитации [Обеспечение качества высшего образования в рамках Болонского процесса 2007]. Для разработки системы мониторинга качества образования высшего учебного заведения IV уровня аккредитации предлагается среди прочих качественных критериев оценки качества образования рассмотреть некоторые количественные критерии. Они, в свою очередь, будут составляющей внутренних механизмов оценки качества образования, а именно – использования различных методов самооценки в рамках деятельности вуза. При этом, такие количественные показатели в рамках оценки качества образования должны учитывать успеваемость студентов каждого конкретного высшего учебного заведения [European University Association 2016].

Предположим, что существует комплексная система ранжирования факультетов, рейтинг факультетов определен и представлен на рис. 3.

Рейтинг факультета	Название факультета
1	A1
2	A2
...	...
N	AN

**Рисунок 3** - Данные рейтинга факультетов

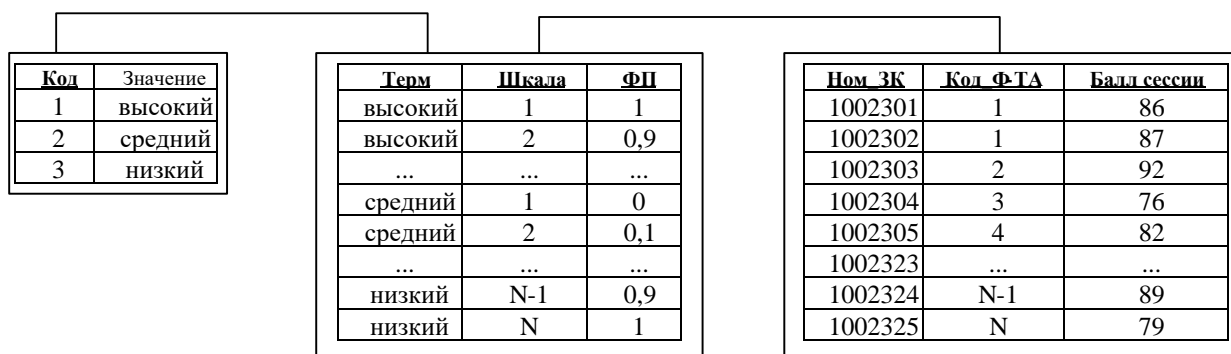
Источник: авторская разработка

В рассматриваемой информационной системе также поддерживается база данных успеваемости студентов. Схема базы данных подсистемы успеваемости представлена в следующем виде:

УСПЕВАЕМОСТЬ (**Ном ЗК**, Фамилия, Код факультета, Группа, Средний балл сессии).

Задача интеллектуального анализа данных: проанализировать, как связан рейтинг факультета и средний балл сессии по каждому факультету в терминах нечеткой логики – "Высокий", "Средний" и "Низкий" (уровень факультетов).

Для решения поставленной задачи сформируем отношение фаззификации  $R^f$  :

**Рисунок 4** - Пример связи отношения фаззификации и анализируемой базы данных

Источник: авторская разработка

В соответствии с изложенной в данной статье методикой при помощи простого запроса можно получить данные в следующем формате: ФАКУЛЬТЕТ; РЕЙТИНГ ФАКУЛЬТЕТА (высокий, средний, низкий); СРЕДНИЙ БАЛЛ СЕССИИ; ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ и проанализировать полученные результаты.

**Выводы.** В данной статье был рассмотрен классический подход к построению реляционного отношения, разработана реляционная модель представления и хранения нечетких данных, а также разработана модель интеграции отношения фаззификации и реляционной базы данных.

Для хранения нечетких данных был определен специализированный тип отношений. Схема такого отношения удовлетворяет двум условиям: соответствует классическим требованиям реляционной модели данных и рационально хранит и представляет модель лингвистической переменной.

Таким образом, предложены условия расширения основных операций

реляционной алгебры для класса систем, спроектированных на основе нечеткой логики. Используя полученные результаты, можно эффективно применять преимущества систем управления баз данных на основе классической реляционной модели для интеллектуальных систем с элементами нечеткой логики. Применение данного подхода стало основой для базовых количественных критериев оценки качества высшего образования в Харьковском национальном университете радиоэлектроники. Подход может быть использован как составляющая методов самооценки высшего учебного заведения для проведения комплексного мониторинга качества высшего образования в рамках развития концепции мониторинга оценки высшего образования в Украине.

### Литература

- Касаткина, Н.В., Тянянский, С.С., Филатов, В.А. (2009). Методы хранения и обработки нечетких данных в среде реляционных систем. *Автоматика. Автоматизация. Электротехнічні комплекси та системи*, вип. 2(24), С. 80-86.
- Мейер, Д. (1987). *Теория реляционных баз данных*: пер. с англ. – М.: Мир, 608 с.
- Филатов, В.А., Касаткина, Н.В. (2009). Об одном подходе к интеллектуальному анализу реляционных данных. *Вестник Херсонского национального технического университета*, вип. 1 (34), С. 157–161.
- Обеспечение качества высшего образования в рамках Болонского процесса /Уровни обеспечения качества высшего образования в рамках Болонской Декларации/. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bologna.ifmo.ru/?id=50>.
- Bodyanskiy, Ye., Dolotov, A., Pliss, I. (2009). Self-learning fuzzy-spiking neural network as a nonlinear pulse-position threshold detection dynamic system based on second order critically damped response units. *Int. Book Series "Information Science & Computing". Sofia: Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA*, 9, 63–70.
- Bodyanskiy, Ye., Otto, P., Popov, S., Rybalchenko, T. (2009). Neuro-Fuzzy Elman Network for Short-Term Electric Load Forecasting. *Proc. 54th International Scientific Colloquium. Technical University of Ilmenau, Flash Drive*, 6 p.
- Bodyanskiy, Ye., Popov, S., Titov, M. (2010). Robust Learning Algorithm for Networks of Neuro-Fuzzy Units. *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering / Ed. by T. Sobh. – Dordrecht : Springer*, 343–346.
- Bodyanskiy, Ye., Teslenko, N., Grimm, P. (2010). Hybrid evolving neural network using kernel activation functions. *Proc. 17th Zittau East-West Fuzzy Colloquium. – Zittau/Goerlitz : HS*, 39–46.
- Dolotov, A., Bodyanskiy, Ye. (2009). Analog-digital self-learning fuzzy spiking neural network in image processing problems. *Image Processing / Vukovar : In-teh*, 357–380. (Book chapter). *European University Association*. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eua.be>.
- Kokshenev, I., Bodyanskiy, Ye., Gorshkov, Ye., Kolodyazhniy, V. (2006). Outlier resistant recursive fuzzy clustering algorithm. *Computational Intelligence: Theory and Applications. Advances in Soft Computing*, 38, 647–652.

## References

- Bodyanskiy, Ye., Dolotov, A., & Pliss, I. (2009). Self-learning fuzzy-spiking neural network as a nonlinear pulse-position threshold detection dynamic system based on second order critically damped response units. *Int. Book Series "Information Science & Computing"*, 9, 63–70.
- Bodyanskiy, Ye., Otto, P., Popov, S., & Rybalchenko, T. (2009). Neuro-Fuzzy Elman Network for Short-Term Electric Load Forecasting. *Proc. 54th International Scientific Colloquium, Flash Drive*, 6 p.
- Bodyanskiy, Ye., Popov, S., & Titov, M. (2010). Robust Learning Algorithm for Networks of Neuro-Fuzzy Units. *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering. Dordrecht: Springer*, 343–346.
- Bodyanskiy, Ye., Teslenko, N., & Grimm, P. (2010). Hybrid evolving neural network using kernel activation functions. *Proc. 17th Zittau East-West Fuzzy Colloquium*, 39–46.
- Dolotov, A., & Bodyanskiy, Ye. (2009). Analog-digital self-learning fuzzy spiking neural network in image processing problems. *Image Processing*, 357–380.
- European University Association. Retrieved from <http://www.eua.be>.
- Kasatkina, N.V., Tanyanskiy, S.S., & Filatov, V.A. (2009). Metody hraneniya i obrabotki nechetkih dannyh v srede relyacionnyh sistem. *Avtomatika. Avtomatizaciya. Elektrotekhnichni Kompleksi Ta Sistemi [Automatics. Automation. Electrical complexes and systems]*, № 2(24), 80-86.
- Kokshenev, I., Bodyanskiy, Ye., Gorshkov, Ye., & Kolodyazhniy, V. (2006). Outlier resistant recursive fuzzy clustering algorithm. *Computational Intelligence: Theory and Applications*, 38, 647–652.
- Mejer, D. (1987). *Teoriya relyacionnyh baz dannyh*. Mir, 608 s.
- Obespechenie kachestva vysshego obrazovaniya v ramkah Bolonskogo processa /Urovni obespecheniya kachestva vysshego obrazovaniya v ramkah Bolonskoj Deklaracii /. Retrieved from <http://bologna.ifmo.ru/?id=50>.
- Filatov, V.A., & Kasatkina, N.V. (2009). Ob odnom podhode k intellektual'nomu analizu relyacionnyh dannyh. *Vestnik Hersonskogo Nacional'nogo Tekhnicheskogo Universiteta [Bulletin of Kherson National Technical University]*, № 1(34), 157–161.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 29.03.2016  
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.04.2016