

УДК 004.89; 004.827; 621.73  
DOI: 10.15827/0236-235X.119.496-503

Дата подачи статьи: 24.04.17  
2017. Т. 30. № 3. С. 496–503

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНТЕРСУБЪЕКТИВНЫХ ОТВЕТОВ НА НЕЧЕТКИЕ ЗАПРОСЫ К БАЗЕ ДАННЫХ САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ**

*С.И. Канюков, к.т.н., старший научный сотрудник, ksi@imach.uran.ru;  
А.В. Коновалов, д.т.н., профессор, зав. лабораторией, avk@imach.uran.ru;  
О.Ю. Муйземнек, к.т.н., старший научный сотрудник, olga@imach.uran.ru  
(Институт машиноведения Уральского отделения РАН,  
ул. Комсомольская, 34, г. Екатеринбург, 620049, Россия)*

Результаты эксплуатации САПР технологических процессов ковки различных поковок на молотах и прессах представляют собой набор значений технологических параметров, получаемых в процессе решения технологических задач и записываемых в реляционную БД.

Современные СУБД позволяют работать, как правило, только с четкими БД и четкими запросами. Под четкой БД понимается совокупность записей – признаков интересующих пользователя объектов, значения которых представляют собой строки или числа, однозначно понимаемые пользователями. Четкий запрос предполагает перечисление значений таких признаков либо границ этих значений. Такой подход приводит к тому, что объекты, признаки которых почти удовлетворяют требованиям запроса, не будут выбраны и информация о них будет утеряна. С подобными потерями информации помогает справиться теория нечетких запросов к реляционным БД, механизмы которой, базирующиеся на теории нечетких множеств Л. Заде, впервые были предложены в 1984 году и впоследствии получили развитие в работах Д. Дюбуа и Г. Прада.

Разработана концепция применения механизма получения интерсубъективных ответов на нечеткие запросы к реляционной БД САПР технологических процессов ковки. На примере решения задачи выбора из БД САПР технологических процессов ковки с хорошей проработкой металла в конечной поковке и высокой степенью использования металла слитка определены лингвистические переменные, термы и их числовые характеристики, построены функции принадлежности числовых характеристик соответствующим термам и сформулированы правила выборки с учетом значимости поставленных целей.

Предложенная концепция может быть использована для разработки механизма получения ответов на нечеткие запросы и в других предметных областях.

**Ключевые слова:** САПР, технология ковки, БД, нечеткие запросы, интерсубъективные ответы, лингвистическая переменная.

Результатом эксплуатации САПР технологических процессов (ТП) ковки различных поковок на молотах и прессах является набор значений технологических параметров, получаемых в процессе решения технологических задач по заложенным в систему алгоритмам и записываемых в реляционную БД. Каждой записи соответствует технологическая карта ковки – документ, содержащий всю информацию (текстовую, числовую, графическую), необходимую при изготовлении поковки кузнечной бригадой. По мере накопления таких записей на предприятиях обычно возникает необходимость формирования различных выборок из уже спроектированных ТП, которая реализуется путем запросов к этой базе на языке SQL.

Следует отметить, что современные СУБД позволяют работать, как правило, только с четкими БД и четкими запросами. Под четкой БД понимается совокупность записей – признаков интересующих пользователя объектов, значения которых представляют собой строки или числа, однозначно понимаемые пользователями. Четкий запрос предполагает перечисление значений таких признаков либо границ этих значений. Данный подход приводит к тому, что объекты, признаки которых почти удовлетворяют требованиям запроса, не будут выбраны и информация о них будет утеряна.

С подобными потерями информации помогает справиться теория нечетких запросов к реляционным БД, механизмы которой, базирующиеся на теории нечетких множеств Л. Заде [1], впервые были предложены в 1984 г. и впоследствии получили развитие в работах Д. Дюбуа и Г. Прада [2, 3].

Поскольку в реальности мы часто оперируем неопределенными, неточными категориями (*молодой, не старый, недалеко, близко, не очень дорогой* и т.п.), что обусловлено наличием в языке слов, имеющих неоднозначное и схожее значение, в нечетких запросах к БД, которые пытается сформулировать человек, нередко присутствуют неточности и неопределенности. Другими словами, нечеткий запрос в отличие от четкого может содержать признаки, которым обычно ставятся в соответствие лингвистические переменные с нечеткими значениями. Множество нечетких значений лингвистической переменной называют терм-множеством, а каждое отдельное значение из этого множества – лингвистическим термом [4]. Например, с лингвистической переменной *ВЕС* можно связать терм-множество лингвистических термов:  $ВЕС = \{\text{малый, небольшой, средний, большой, очень большой}\}$ .

Реализация нечетких запросов, появившихся в связи с необходимостью смягчить булеву логику

в реляционных БД, является перспективным направлением в современных системах обработки информации, поскольку дает возможность пользователям формулировать запросы на естественном языке. Для этой цели разработаны нечеткая реляционная алгебра и специальные расширения языка SQL для нечетких запросов [4–9].

Следует отметить, что нечеткие запросы активно используются при решении задач информационного поиска и мониторинга [10, 11], а также в системах планирования и проектирования производства, например, для выбора наилучшего по соотношению цены и качества оборудования [12]. Нечеткие запросы, построенные на основе методов нечеткой логики, находят применение при решении проблем, связанных с электронным документооборотом [13]. В последние годы изучаются вопросы создания экспертных систем, разрабатываемых на основе теории нечетких множеств, которые используют нечеткие запросы для поиска информации в образовательном процессе [14].

Не вдаваясь в подробности нечеткой реляционной алгебры и языка SQL для нечетких запросов, рассмотрим предлагаемую методологию организа-

ции таких запросов в САПР ТПковки на примерековки валов на прессах.

На рисунке 1 представлен фрагмент технологической картыковки поковки «Вал упорный» из стали 38ХМ, спроектированной САПР ТПковки.

Проектирование начинается с выбора слитка из номенклатуры предприятия. Основной характеристикой каждого слитка является его масса, с которой однозначно связаны все его размеры и выход годного – доля металла в слитке, пригодная для изготовления поковки. Так, для поковки с массой 1,73 т, изображенной на рисунке 1 (нижний эскиз), выбран слиток массой 5,55 т с выходом годного 0,61 (61 % от массы слитка).

После нагрева выбранного слитка обычно производится его осадка и протяжка в цилиндрическую заготовку, промежуточный подогрев и ковка конечной поковки.

В левой колонке на рисунке 1 дано описание действий кузнечной бригады, в следующей колонке приведены эскизы промежуточных заготовок и конечной поковки, на которых, помимо размеров, указываются характеристики степени деформации (уковы) – числа над эскизами, и далее

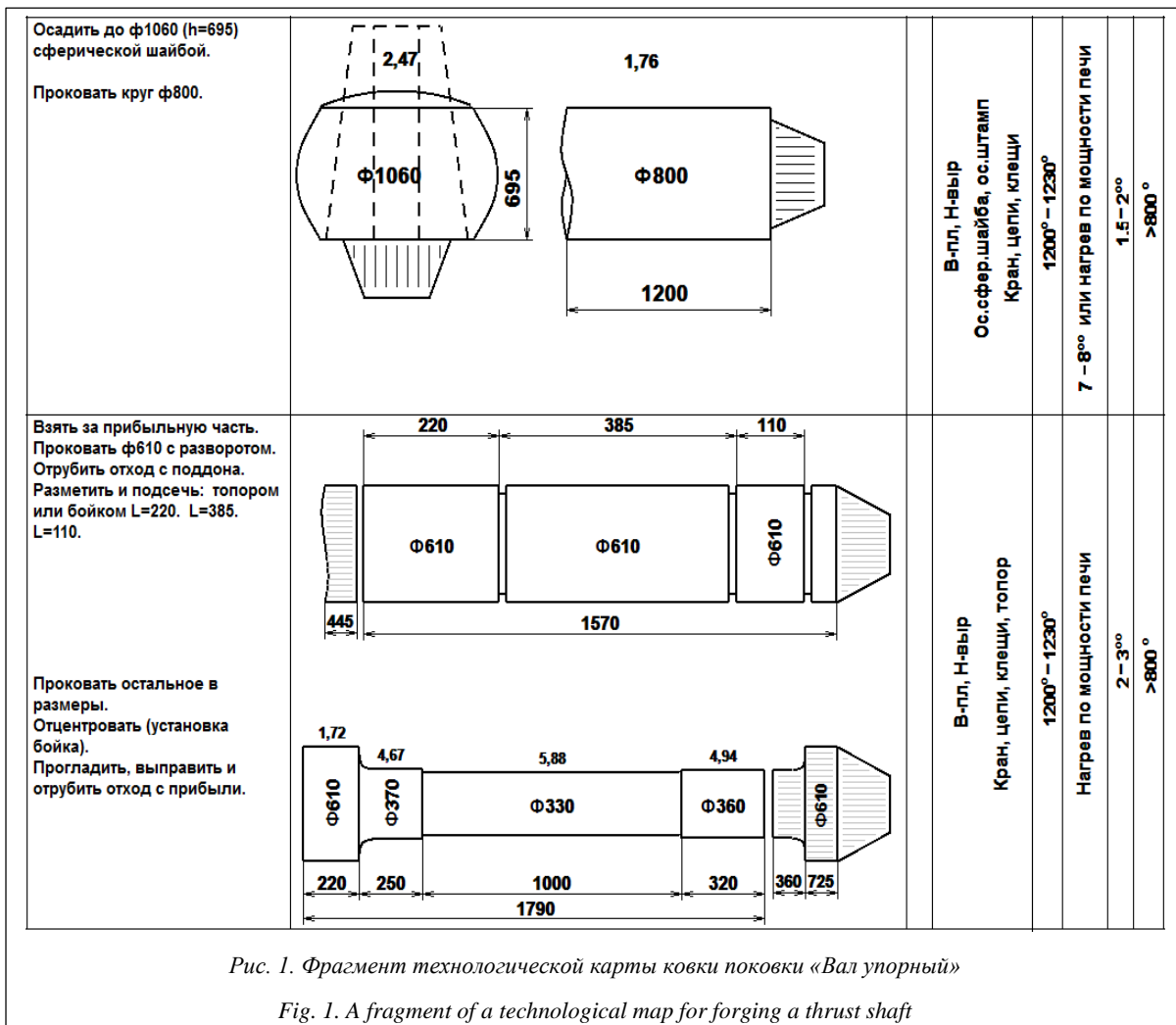


Рис. 1. Фрагмент технологической картыковки поковки «Вал упорный»

Fig. 1. A fragment of a technological map for forging a thrust shaft

слева направо – сведения об основных и вспомогательных инструментах, используемых в процессековки, температура нагрева печи, время нагрева, время выдержки, температура концаковки.

Допустим, реляционная БД САПР ТПковки уже сформирована и пользователь решил сделать следующий запрос: «Выбрать из БД технологические процессы с **хорошей** проработкой металла в конечной поковке и **высокой** степенью использования металла слитка». Такой запрос по существу включает в себя две нечеткие субъективные цели:

**СУБЪЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ 1.** Хорошая проработка металла поковки;

**СУБЪЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ 2.** Высокая степень использования металла слитка.

Задача выбора рационального (интерсубъективного) ответа на сформулированный нечеткий запрос, преследующий совокупность субъективных нечетких целей, может быть успешно решена с использованием основных положений теории нечетких множеств и нечеткого управления [15, 16] и теории принятия решений в нечетких условиях по схеме Беллмана–Заде [17].

Методология решения поставленной задачи состоит в выполнении следующих этапов.

**Этап 1.** Для формализации нечетких признаков будущей выборки необходимо ввести лингвистические переменные с соответствующими терм-множествами и с каждой лингвистической переменной связать некоторую числовую характеристику.

Числовой характеристикой качества проработки металла в теории обработки металлов давлением принято считать общий уков  $U$ .

$$U = \frac{D^2}{D_p^2}, \tag{1}$$

где  $D$  – диаметр осаженого слитка;  $D_p$  – габаритный диаметр конечной поковки.

Так, для поковки на рисунке 1 общий уков  $U = \frac{1060^2}{610^2} = 3,02$ .

Поэтому с качеством проработки металла свяжем лингвистическую переменную  $УКОВ = \{низкий, хороший, высокий\}$ .

Числовой характеристикой  $K$  степени использования металла слитка будем считать коэффициент использования металла (КИМ).

$$K = \frac{M_p}{M_s \times V_s}, \tag{2}$$

где  $M_p$  – масса поковки;  $M_s, V_s$  – масса и выход годного слитка соответственно.

Для поковки на рисунке 1 коэффициент использования металла  $K = \frac{1,73}{5,55 \times 0,61} = 0,51$ .

Поэтому с использованием металла слитка свяжем лингвистическую переменную  $КИМ = \{низкий, хороший, высокий\}$ .

Таким образом, нечеткий запрос «Выбрать технологические процессы с **хорошей** проработкой металла в конечной поковке и **высокой** степенью использования металла слитка» можно перефразировать в нечеткий запрос:

**ЗАПРОС:** «Выбрать технологические процессы по признакам»; (3)

**СУБЪЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ 1.**  $УКОВ = \{хороший\}$ ;

**СУБЪЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ 2.**  $КИМ = \{высокий\}$ .

**Этап 2.** Для числовой характеристики каждого терма каждой лингвистической переменной необходимо установить область определения.

Допустим,  $X$  – числовая характеристика некоторого терма. В общем случае область определения  $X$  состоит из трех частей. Например, для лингвистической переменной  $ВОЗРАСТ$  человека и терма *средний* можно принять утверждение: если  $X \in [35, 45]$ , то  $ВОЗРАСТ = \text{средний}$ . Однако можно утверждать и то, что  $X \in [30, 50] \Rightarrow ВОЗРАСТ = \text{средний}$ . Следовательно, область определения в данном случае можно разбить на три зоны:  $[30, 35]$ ,  $[35, 45]$ ,  $[45, 50]$ , границами которых служат значения  $a = 30, b = 35, c = 45, d = 50$ , и в дальнейшем считать:  $X \in [35, 45] \Rightarrow ВОЗРАСТ = \text{средний}$  (безусловно средний),  $X \in [30, 35] \vee X \in [45, 50] \Rightarrow ВОЗРАСТ = \text{средний}$  (с некоторым допущением).

Аналогично и в рассматриваемой задаче. В таблице 1 приведены значения границ зон определения числовых характеристик термов введенных лингвистических переменных, принятых в САПР

Таблица 1

Границы зон определения числовых характеристик

Table 1

Boundaries of quantitative characterization intervals

| Переменная | Терм    | Числовая характеристика | Границы зон определения числовых характеристик |          |          |          |
|------------|---------|-------------------------|--|----------|----------|----------|
|            |         |                         | <i>a</i>                                       | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> |
| УКОВ       | низкий  | U                       | 2  | 2,4      | 2,6      | 3        |
|            | хороший |                         | 2,8  | 3,5      | 5        | 5,5      |
|            | высокий |                         | 5  | 5,5      | 6        | –        |
| КИМ        | низкий  | K                       | 0,1  | 0,3      | 0,4      | 0,6      |
|            | хороший |                         | 0,5  | 0,6      | 0,7      | 0,9      |
|            | высокий |                         | 0,8  | 0,9      | 1        | –        |

ТПковки. Они получены в результате анализа реальных технологических картковки и на основе физических представлений о рассматриваемой области.

**Этап 3. Для каждого лингвистического термина каждой лингвистической переменной необходимо построить функцию принадлежности числовой характеристики этому терму.**

Определение нечеткого множества не накладывает ограничений на вид функции принадлежности элемента множеству. Основное требование, предъявляемое к построению функции принадлежности, – значение функции должно быть больше нуля хотя бы для одного лингвистического термина. Определение конкретного вида функции принадлежности  $\mu$  в каждой предметной области находится за пределами теории нечетких множеств и больше относится к теории экспертного оценивания и методов обработки экспертной информации. На практике наиболее часто применяют трапециевидальную функцию принадлежности [15].

Например, трапециевидальные функции принадлежности  $\mu_1$  числовой характеристики  $U$  лингвистическим терминам переменной  $УКОВ$  могут быть записаны следующим образом.

- Для лингвистического термина *низкий*:

$$\mu_1^{низкий}(U) = \begin{cases} \frac{U-a}{b-a}, & a \leq U \leq b, \\ 1, & b \leq U \leq c, \\ \frac{d-U}{d-c}, & c \leq U \leq d, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (4)$$

где  $a, b, c, d$  – границы зон определения числовых характеристик, соответствующие этому терму, значения которых приведены в таблице 1.

- Для лингвистического термина *хороший*:  $\mu_1^{хороший}(U)$  аналогично выражению (4), но только для своих значений  $a, b, c, d$ .

- Для лингвистического термина *высокий*:

$$\mu_1^{высокий}(U) = \begin{cases} \frac{U-a}{b-a}, & a \leq U \leq b, \\ 1, & b \leq U, \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (5)$$

Аналогично строятся функции принадлежности и для переменной  $КИМ$ .

На рисунках 2 и 3 приведены графики трапециевидальных функций принадлежности числовых характеристик  $U$  и  $K$  лингвистическим терминам переменных  $УКОВ$  и  $КИМ$ , построенные на основе выражений (4, 5) и данных таблицы 1.

**Этап 4. Формирование интерсубъективной выборки из реляционной БД в соответствии с запросом (3).**

Решение поставленной задачи начинается с расчета значений числовых характеристик  $U$  и  $K$  по формулам (1) и (2) для каждого ТП из БД.

Затем для каждого термина каждой лингвистической переменной по таблице 1 и выражениям (4) и (5) рассчитывается значение функции принадлежности числовых характеристик и решается поставленная задача выборки. Например, для поковки, изображенной на рисунке 1, для которой  $U = 3,02$ ,  $K = 0,51$ , такие расчеты будут следующими:

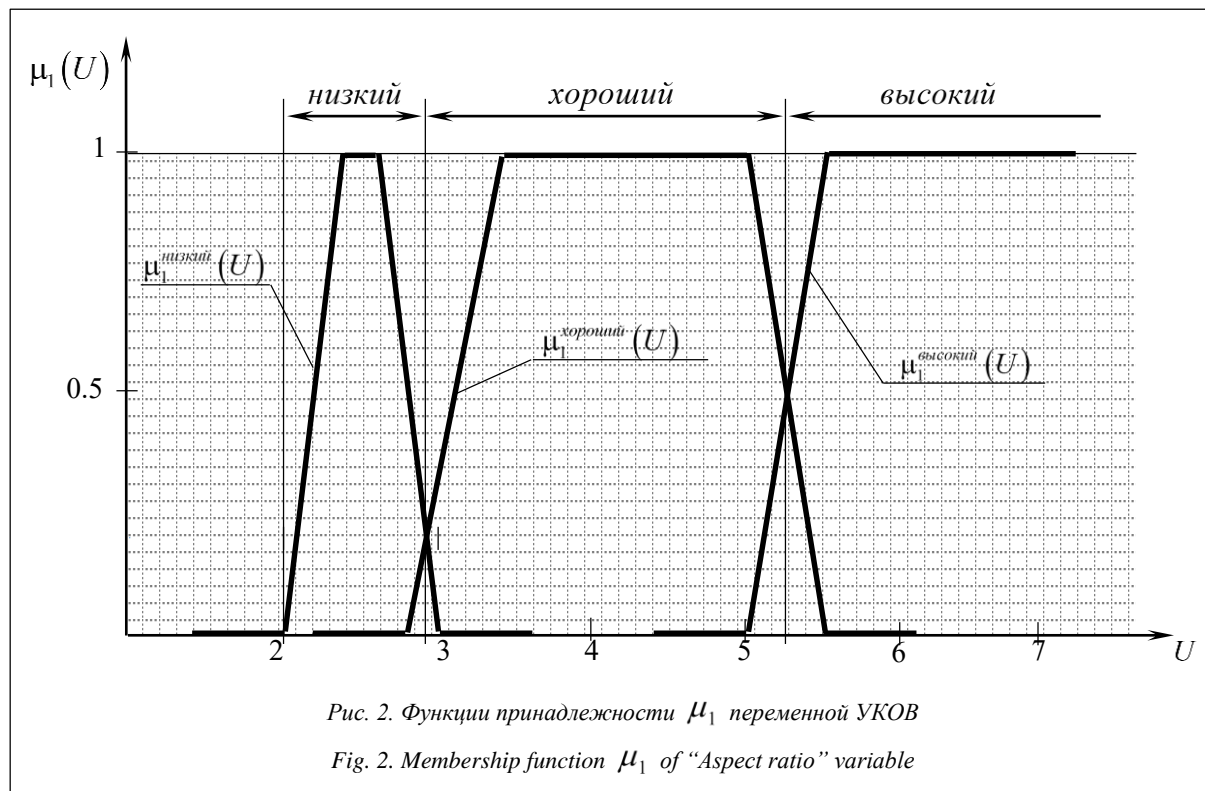
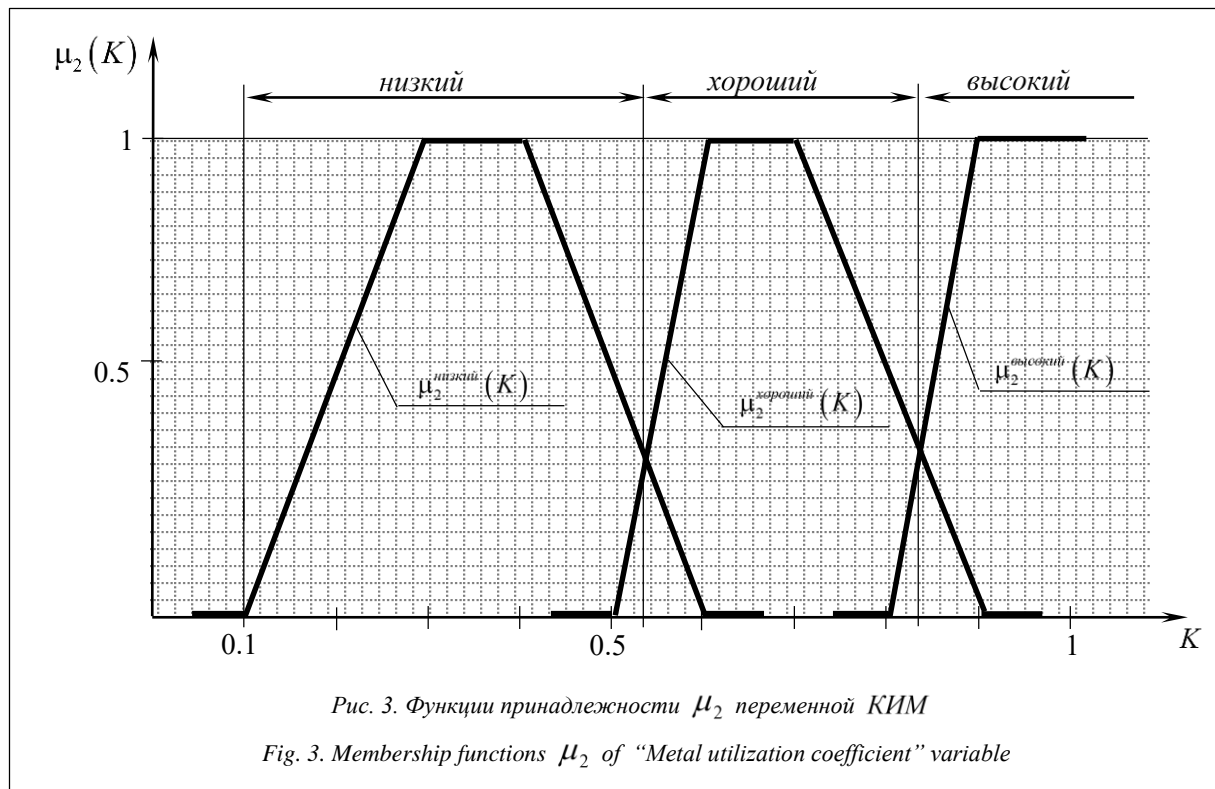


Рис. 2. Функции принадлежности  $\mu_1$  переменной  $УКОВ$

Fig. 2. Membership function  $\mu_1$  of “Aspect ratio” variable



$$\begin{aligned}
 \text{УКОВ} = \{ \text{низкий} \} &\Rightarrow \mu_1^{\text{низкий}}(3,02) = 0, \\
 \text{УКОВ} = \{ \text{хороший} \} &\Rightarrow \mu_1^{\text{хороший}}(3,02) = \\
 &= \frac{3,02 - 2,8}{3,5 - 2,8} = 0,31, \\
 \text{УКОВ} = \{ \text{высокий} \} &\Rightarrow \mu_1^{\text{высокий}}(3,02) = 0. \\
 \mu_1^{\text{хороший}} > \mu_1^{\text{низкий}} \vee \mu_1^{\text{хороший}} > \mu_1^{\text{высокий}} &\Rightarrow \text{УКОВ} = \\
 &= \{ \text{хороший} \}, \\
 \text{СУБЪЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ 1 достигнута.} \\
 \text{КИМ} = \{ \text{низкий} \} &\Rightarrow \mu_2^{\text{низкий}}(0,51) = \\
 &= \frac{0,6 - 0,51}{0,6 - 0,4} = 0,45, \\
 \text{КИМ} = \{ \text{хороший} \} &\Rightarrow \mu_2^{\text{хороший}}(0,51) = \\
 &= \frac{0,51 - 0,5}{0,6 - 0,5} = 0,1, \\
 \text{КИМ} = \{ \text{высокий} \} &\Rightarrow \mu_2^{\text{высокий}}(0,51) = 0. \\
 \mu_1^{\text{низкий}} > \mu_1^{\text{хороший}} \vee \mu_1^{\text{низкий}} > \mu_1^{\text{высокий}} &\Rightarrow \text{КИМ} = \\
 &= \{ \text{низкий} \},
 \end{aligned}$$

СУБЪЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ 2 не достигнута, и поковка, изображенная на рисунке 1, в выборку не попадет.

В качестве примера в таблице 2 приведен усеченный фрагмент реляционной БД САПР ТПковки, включающей в себя 10 ТП (записей) с расчетными числовыми характеристиками  $U_i, K_i$  и значениями функций принадлежности  $\mu_1(U_i), \mu_2(K_i), i = 1, 2, \dots, 10$ .

Правило формирования интерсубъективной выборки по запросу (3) состоит в том, что в каждой  $i$ -й строке таблицы 2 ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ) среди столбцов со значениями  $\mu_1(U_i)$  и  $\mu_2(K_i)$  выбираются соответствующие их максимальным значениям (в таблице 2 эти значения выделены жирным шрифтом), и, если выбранные столбцы соответствуют запросу (3),  $i$ -я строка попадает в выборку. Результаты запроса (3) отражены в таблице 3.

Нетрудно заметить, что недостатком такой выборки является то, что расположение строк в таблице 3 совпадает с порядком записей в БД и не отражает степени близости каждого ТП обеим поставленным субъективным целям. Для устранения этого недостатка необходимо ввести результирующую функцию принадлежности  $\mu(U_i, K_i)$ , характеризующую близость  $i$ -го ТП, попавшего в выборку, СУБЪЕКТИВНЫМ ЦЕЛЯМ 1 и 2 одновременно, а именно:

$$\mu(U_i, K_i) = \min [\mu_1^{\text{хороший}}(U_i), \mu_2^{\text{высокий}}(K_i)]. \quad (6)$$

Тогда таблица 3 преобразуется в таблицу 4, где строки уже расположены в порядке уменьшения значения  $\mu(U_i, K_i)$ .

Таким образом, наиболее близким по отношению к СУБЪЕКТИВНЫМ ЦЕЛЯМ 1 и 2 является ТП под номером  $i = 9$ , а наиболее далеким – под номером  $i = 2$ .

Отметим, что правило (6) справедливо, когда ЦЕЛИ 1 и 2 одинаково важны. Более общим является случай, когда важности целей различные [18].

Таблица 2

Фрагмент реляционной БД САПР ТПковки

Table 2

A fragment of relational database for forging CAPP software

| i  | Масса, т |        | U <sub>i</sub> | μ <sub>1</sub> (U <sub>i</sub> ) |             |             | K <sub>i</sub> | μ <sub>2</sub> (K <sub>i</sub> ) |             |             |
|----|----------|--------|----------------|----------------------------------|-------------|-------------|----------------|----------------------------------|-------------|-------------|
|    | поковки  | слитка |                | низкий                           | хороший     | высокий     |                | низкий                           | хороший     | высокий     |
| 1  | 1,73     | 5,55   | 3,02           | 0,00                             | <b>0,31</b> | 0,00        | 0,51           | <b>0,45</b>                      | 0,10        | 0,00        |
| 2  | 3,36     | 7,00   | 3,00           | 0,00                             | <b>0,29</b> | 0,00        | 0,85           | 0,00                             | 0,25        | <b>0,50</b> |
| 3  | 59,73    | 103,00 | 5,20           | 0,00                             | <b>0,60</b> | 0,40        | 1,00           | 0,0                              | 0,0         | <b>1,00</b> |
| 4  | 8,04     | 16,50  | 3,72           | 0,00                             | <b>1,00</b> | 0,00        | 0,84           | 0,00                             | 0,30        | <b>0,40</b> |
| 5  | 8,92     | 24,20  | 5,31           | 0,00                             | 0,38        | <b>0,62</b> | 0,64           | 0,00                             | <b>1,00</b> | 0,00        |
| 6  | 12,17    | 50,00  | 2,23           | <b>0,56</b>                      | 0,00        | 0,00        | 0,42           | <b>0,90</b>                      | 0,00        | 0,00        |
| 7  | 18,06    | 32,80  | 4,71           | 0,00                             | <b>1,00</b> | 0,00        | 0,86           | 0,00                             | 0,20        | <b>0,60</b> |
| 8  | 25,88    | 53,00  | 5,30           | 0,00                             | 0,40        | <b>0,86</b> | 0,84           | 0,00                             | 0,30        | <b>0,40</b> |
| 9  | 43,19    | 83,72  | 4,78           | 0,00                             | <b>1,00</b> | 0,00        | 0,89           | 0,00                             | 0,05        | <b>0,90</b> |
| 10 | 72,70    | 140,00 | 5,97           | 0,00                             | 0,00        | <b>1,00</b> | 0,90           | 0,00                             | 0,00        | <b>1,00</b> |

Таблица 3

Выборка по запросу (3)

Table 3

Response to query (3)

| i | Масса, т |        | U <sub>i</sub> | μ <sub>1</sub> (U <sub>i</sub> ) | K <sub>i</sub> | μ <sub>2</sub> (K <sub>i</sub> ) |
|---|----------|--------|----------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|
|   | поковки  | слитка |                | хороший                          |                | высокий                          |
| 2 | 3,36     | 7,00   | 3,00           | 0,29                             | 0,85           | 0,50                             |
| 3 | 59,73    | 103,00 | 5,20           | 0,60                             | 1,00           | 1,00                             |
| 4 | 8,04     | 16,50  | 3,72           | 1,00                             | 0,84           | 0,40                             |
| 7 | 18,06    | 32,80  | 4,71           | 1,00                             | 0,86           | 0,60                             |
| 9 | 43,19    | 83,72  | 4,78           | 1,00                             | 0,89           | 0,90                             |

Таблица 4

Выборка по запросу (3) и правилу (6)

Table 4

A sample for query (3) respecting rule (6)

| i | Масса, т |        | U <sub>i</sub> | μ <sub>1</sub> (U <sub>i</sub> ) | K <sub>i</sub> | μ <sub>2</sub> (K <sub>i</sub> ) | μ(U <sub>i</sub> , K <sub>i</sub> ) (6) |
|---|----------|--------|----------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|---|
|   | поковки  | слитка |                | хороший                          |                | высокий                          |   |
| 9 | 43,19    | 83,72  | 4,78           | 1,00                             | 0,89           | 0,90                             | 0,90                                    |
| 7 | 18,06    | 32,80  | 4,71           | 1,00                             | 0,86           | 0,60                             | 0,60                                    |
| 3 | 59,73    | 103,00 | 5,20           | 0,60                             | 1,00           | 1,00                             | 0,60                                    |
| 4 | 8,04     | 16,50  | 3,72           | 1,00                             | 0,84           | 0,40                             | 0,40                                    |
| 2 | 3,36     | 7,00   | 3,00           | 0,29                             | 0,85           | 0,50                             | 0,29                                    |

Таблица 5

Выборка по правилу (7) при α<sub>1</sub>=1/3, α<sub>2</sub>=2/3

Table 5

A sample for rule (7) with α<sub>1</sub>=1/3, α<sub>2</sub>=2/3

| i | Масса, т |        | U <sub>i</sub> | [μ <sub>1</sub> (U <sub>i</sub> )] <sup>1/3</sup> | K <sub>i</sub> | [μ <sub>2</sub> (K <sub>i</sub> )] <sup>2/3</sup> | μ(U <sub>i</sub> , K <sub>i</sub> ) |
|---|----------|--------|----------------|---|----------------|---|-------------------------------------|
|   | поковки  | слитка |                | хороший   |                | высокий   |                                     |
| 9 | 43,19    | 83,72  | 4,78           | 1,00  | 0,89           | 0,93  | 0,93                                |
| 3 | 59,73    | 103,00 | 5,20           | 0,84  | 1,00           | 1,00  | 0,84                                |
| 7 | 18,06    | 32,80  | 4,71           | 1,00  | 0,86           | 0,71  | 0,71                                |
| 2 | 3,36     | 7,00   | 3,00           | 0,66  | 0,85           | 0,63  | 0,63                                |
| 4 | 8,04     | 16,50  | 3,72           | 1,00  | 0,84           | 0,54  | 0,54                                |

Пусть α<sub>1</sub> ∈ [0, 1], α<sub>2</sub> ∈ [0, 1] – относительные важности СУБЪЕКТИВНЫХ ЦЕЛЕЙ 1, 2 соответственно и α<sub>1</sub> + α<sub>2</sub> = 1. Тогда в соответствии с рекомендациями [18] результирующая функция принадлежности μ(U<sub>i</sub>, K<sub>i</sub>) определяется выражением

$$\mu(U_i, K_i) = \min \left\{ [\mu_1^{\text{хороший}}(U_i)]^{\alpha_1}, [\mu_2^{\text{высокий}}(K_i)]^{\alpha_2} \right\}, (7)$$

где α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub> – показатели степени, в которые возводятся μ<sub>1</sub><sup>хороший</sup>(U<sub>i</sub>) и μ<sub>2</sub><sup>высокий</sup>(K<sub>i</sub>).

Например, пусть α<sub>1</sub> = 1/3, α<sub>2</sub> = 2/3, то есть СУБЪЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ 2 в два раза важнее СУБЪЕКТИВНОЙ ЦЕЛИ 1. Результат выборки из таблицы 2 в соответствии с правилом (7) приведен в таблице 5.

Нетрудно заметить, что порядок расположения записей в таблице 5 по сравнению с таблицей 4 изменился.

Таким образом, разработана концепция применения механизма получения интересующих ответов на нечеткие запросы к реляционной БД САПР ТПковки. Применительно к рассмотренной задаче выбора из БД ТП с **хорошей** проработкой металла в конечной поковке и **высокой** степенью использования металла слитка определены лингвистические переменные, термы и их числовые характеристики, установлены границы зон определения числовых характеристик, построены функции принадлежности числовых характеристик соответствующим термам и сформулированы правила выборки с учетом важности поставленных целей. Результаты работы проиллюстрированы на конкретном примере.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-07-00597\_a в части формализации нечетких целей для получения интересующих ответов на нечеткие запросы и в рамках Комплексной программы УрО РАН, проект № 15-7-1-9, в части формализации лингвистических переменных, их термов и числовых характеристик.*

#### Литература

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 166 с.
2. Дюбуа Д., Прад Г. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
3. Dubois D., Prade H. Using fuzzy sets in database systems: why and how? Proc. of 1996 Workshop on Flexible Query-Answering Systems (FQAS'96), Denmark, May 22–24, 1996, pp. 89–103.
4. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. 256 с.
5. Шукшина Н.С., Воронова Л.И. Разработка нечетких запросов к реляционной базе данных системы онлайн-платежей // Междунар. студ. науч. вестн. 2015. № 3–4. С. 522–524.
6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия–Телеком, 2007. 288 с.
7. Рыжов А.П. О качестве поиска информации по нечетким описаниям // Изв. ЮФУ: Технич. науки. 2006. № 8. С. 10–17.
8. Коновалов Д.П. К вопросу нечетких запросов к реляционным базам данных // Перспективы развития информ. технологий. 2010. № 2. С. 87–92.
9. Целых А.Н., Котов Э.М., Целых А.А. Метод информационного поиска на основе нечеткого сходства ситуаций // Изв. ЮФУ: Технич. науки. 2014. № 6. С. 74–78.
10. Соськин М.А., Лещик Ю.В. Применение алгоритмов нечеткого поиска в системах мониторинга лесопожарной обстановки // Изв. Томского политех. ун-та. 2012. № 5. С. 98–101.
11. Косоуров Д.А. Применение нечетких запросов в задачах планирования технического обслуживания и ремонта судов // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 21–24.
12. Чуйкова Е.Н. Реализация нечеткого выбора оборудования в системе проектирования информационной сети // Вестн. Донского гос. технич. ун-та. 2014. № 3. С. 164–171.
13. Венцов Н.Н., Долгов В.В., Подколзина Л.А. Об одном способе построения запросов к базе данных на основе аппарата нечеткой логики // Инженер. вестн. Дона. 2015. № 3 (37). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172 (дата обращения: 23.04.2017).
14. Чванова М.С., Киселева И.А., Молчанов А.А. Выбор проекта и оценка его эффективности на основе нечетких запросов и метода экспертных оценок // Вестн. Тамбовского ун-та: Гуманитар. науки. 2013. № 12. С. 138–150.
15. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений. М.: Диалог–МГУ, 1998. 81 с.
16. Шеридан Т.Б., Феррел У.Р. Системы человек–машина: модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором. М.: Машиностроение, 1980. 400 с.
17. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision-making in fuzzy environment. Management Science, 1970, vol. 17, no. 4, pp. 141–160.
18. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172–215.

#### A CONCEPT OF INTERSUBJECTIVE RESPONSE RECEIVING TO FUZZY QUERIES TO FORGING COMPUTER-AIDED PROCESS PLANNING DATABASE

**S.I. Kanyukov**<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Senior Researcher, [ksi@imach.uran.ru](mailto:ksi@imach.uran.ru)  
**A.V. Kononov**<sup>1</sup>, Dr.Sc. (Engineering), Professor, Head of Laboratory, [avk@imach.uran.ru](mailto:avk@imach.uran.ru)  
**O.Yu. Muizemnek**<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Senior Researcher, [olga@imach.uran.ru](mailto:olga@imach.uran.ru)

<sup>1</sup> Institute of Engineering Science of the Ural Branch of the RAS, Komsomolskaya St. 34, Ekaterinburg, 620049, Russian Federation

**Abstract.** A usage experience of Computer-Aided Process Planning (CAPP) software for press and hammer forging is a set of technological parameter values obtained in the technological problem solution process. The values are stored in a relational database.

State-of-the-art database managing software generally use “crisp” (as opposing to “fuzzy”) databases and allow only “crisp” queries. We use “crisp database” as a term for a set of records that hold attributes of objects of user interest. The attribute values are represented by text or numeric values that are unambiguously understood by users. Crisp queries suppose enumeration of

the attribute values or their boundaries. Therefore, the objects with attributes that partly satisfy the query will be excluded from the query response, so the information will be lost. The fuzzy query theory allows overcoming this information loss problem. The theory of fuzzy query to relational database is based on the fuzzy set theory, which was introduced in 1984 by L. Zadeh and then developed by D. Dubois and H. Prade.

The paper considers the developed concept for acquiring intersubjective responses to fuzzy queries to relational database of a forging CAPP. The authors use case study of forging CAPP software database queries to define linguistic variables, terms and their quantitative characterizations. There are membership functions for terms mapped to quantitative characterizations. The paper formulates response construction rules according to relative importance of stated goals. The query requests the technological processes with “good” metal elaboration in final forged part and high utilization of metal from ingot.

The proposed concept can be applied in development of mechanism for acquiring responses to fuzzy queries in numerous subject areas.

**Keywords:** CAPP, forging, database, fuzzy query, intersubjective response, linguistic variable.

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude for the financial support from the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project no. 16-07-00597\_a in a part of fuzzy goal formalization for intersubjective responses to fuzzy queries and by the Complex Program of UB RAS (project No. 15-7-1-9) in a part of formalizing linguistic variables, their terms and quantitative characterizations.

### References

1. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. *Information Sciences*. 1975, vol. 8, pp. 199–249 (Russ. ed.: Moscow, Mir Publ., 1976, 166 p.).
2. Dubois D., Prade H. *Possibility Theory*. NY, Plenum Press, 1988 (Russ.ed.: Moscow, Radio i svyaz Publ., 1990, 288 p.).
3. Dubois D., Prade H. Using Fuzzy Sets in Database Systems: Why and How? *Proc. 1996 Workshop on Flexible Query-Answering systems (FQAS'96)*. Denmark, 1996, pp. 89–103.
4. Kruglov V.V., Dli M.I. *Intellektualnye informatsionnye sistemy: kompyuternaya podderzhka sistem nechetkoy logiki i nechetkogo vyvoda* [Intelligent Information Systems: Computer Support of a Fuzzy Logic and Fuzzy Inference]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2002, 256 p.
5. Shukshina N.S., Voronova L.I. The development of fuzzy queries to a relational database of an online payment system. *Mezhdunar. stud. nauch. vestn.* [European Student Scientific Jour.]. 2015, no. 3–4, pp. 522–524.
6. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Fuzzy System Design Using MATLAB]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2007, 288 p.
7. Ryzhov A.P. On the quality of information search by fuzzy descriptions. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]. 2006, no. 8, pp. 10–17 (in Russ.).
8. Konovalov D.P. On the problem of fuzzy queries to relational databases. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologiy* [IT Development Prospects]. 2010, no. 2, pp. 87–92.
9. Tselykh A.N., Kotov E.M., Tselykh A.A. Method of information retrieval based on a fuzzy similarity of situations. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]. 2014, no. 6 (155), pp. 74–78 (in Russ.).
10. Sonkin M.A., Leshchik Yu.V. Application of fuzzy search algorithms in the systems for monitoring fire situation in the forests. *Izvestiya Tomskogo politekhnich. un-ta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic Univ.]. 2012, no. 5, pp. 98–101 (in Russ.).
11. Kosourov D.A. Fuzzy queries application in plan tasks of ships maintenance and repair. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2013, no. 2, pp. 21–24 (in Russ.).
12. Chuykova E.N. Realization of the fuzzy selection of equipment in the information network design system. *Vestn. DGTU* [Vestnik of DSTU]. 2014, no. 3 (78), pp. 164–171 (in Russ.).
13. Ventsov N.N., Dolgov V.V., Podkolzina L.A. One method of constructing database queries based on fuzzy logic. *Inzhenerny vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2015, no. 3 (37). Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172) (accessed April 23, 2017).
14. Chvanova M.S., Kiseleva I.A., Molchanov A.A. Project selection and evaluation of its effectiveness based on fuzzy request and method of expert evaluations. *Vestn. Tambovskogo un-ta. Seriya: gumanitarnye nauki* [Tambov Univ. Reports. Series Technical Sciences]. 2013, no. 12 (128), pp. 138–150 (in Russ.).
15. Ryzhov A.P. *Elementy teorii nechetkikh mnozhestv i ee prilozheny* [The Elements of the Fuzzy Sets Theory and Its Applications]. Moscow, Dialog–MGU Publ., 1998, 81 p.
16. Sheridan T.B., Ferrell W.R. *Man-Machine Systems: Information, Control, and Decision Models of Human Performance*. MIT Press, 1975, 452 p. (Russ.ed.: Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980, 520 p.).
17. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision-Making in Fuzzy Environment. *Management Science*. 1970, vol. 17, no. 4, pp. 141–160.
18. Bellman R., Zadeh L.A. Decision-Making in Fuzzy Environment. *Voprosy analiza i protsedury prinyatiya resheny* [The Problems of Analysis and Decision-Making Procedures]. Moscow, Mir Publ., 1976, pp. 172–215 (in Russ.).