

УДК 378.14

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ О КОМПЕТЕНТНОСТИ  
СПЕЦИАЛИСТА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

О.Г. Берестнева, Г.Е. Шевелев, Д.О. Щербаков

Томский политехнический университет  
E-mail: ogb@rambler.ru**Берестнева Ольга Григорьевна**, д-р техн. наук, профессор кафедры прикладной математики Института кибернетики ТПУ.  
E-mail: ogb@rambler.ru

Область научных интересов: компьютерные технологии, прикладной анализ данных.

**Шевелев Геннадий Ефимович**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры прикладной математики Института кибернетики ТПУ.

E-mail: gsheveliov@gmail.com

Область научных интересов: компьютерные технологии, прикладной анализ данных.

**Щербаков Дмитрий Олегович**, аспирант кафедры прикладной математики Института кибернетики ТПУ.

E-mail: sherbakov2005@mail.com

Область научных интересов: компьютерные технологии, прикладной анализ данных.

Предложено на основе теории нечетких множеств решать задачи по определению уровня компетентности с помощью индивидуальных интегральных оценок компетентности. Разработанный алгоритм может быть успешно использован в задачах оценки уровня различного вида компетенций (личностных, профессиональных, общекультурных, универсальных).

**Ключевые слова:**

Теория нечетких множеств, компетентность, компетентностная модель.

Необходимость использования для решения задач оценки и анализа компетентности методов «мягких» вычислений (теории нечетких множеств) обусловлена следующим. По своей сути обычные количественные методы анализа непригодны для систем, в которых участвует человек. В основе этого тезиса лежит то, что можно было бы назвать принципом несовместимости. Суть этого принципа состоит в том, что чем сложнее система, тем менее мы способны дать точные и в то же время имеющие практическое значение суждения о ее

поведении. Для систем, сложность которых превосходит некоторый пороговый уровень, точность и практический смысл становятся почти исключаящими друг друга характеристиками. Следствие из этого принципа кратко можно выразить так: чем глубже мы анализируем реальную задачу, тем неопределеннее становится ее решение. По мнению многих авторов, точный количественный анализ поведения гуманистических систем (т. е. систем с участием человека) не имеет большого практического значения в реальных прикладных задачах. Это справедливо и для такой сложной системы как компетентность. Например, если мы решаем задачу определения уровня компетентности в рамках некоторых диагностических классов (высокий уровень, средний уровень, низкий уровень и т. п.), следует помнить, что «элементами мышления человека являются не числа, а элементы некоторых нечетких множеств или классов объектов, для которых переход от «принадлежности к классу» к «не принадлежности» не скачкообразен, а непрерывен» [1].

По своей природе оценка является приближением, в том числе и оценка компетентности. Человеческий мозг, кодируя информацию, «достаточную для задачи» (или «достаточную для решения»), фактически оперирует с элементами нечетких множеств, которые лишь приближенно описывают имеющиеся данные. В связи с этим, для диагностики уровня компетентности студентов может быть использована методологическая схема, допускающая нечеткости и частичные истины.

Отличительные черты подхода, основанного на теории нечетких множеств:

1. Используются «лингвистические» переменные вместо числовых переменных или в дополнение к ним.
2. Простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний.

3. Сложные отношения описываются нечеткими алгоритмами.

Для решения задачи определения уровня компетентности предлагается модификация алгоритма, представленного в [1].

На первом этапе определяются продукционные правила, связывающие лингвистические переменные. Совокупность таких правил описывает стратегию управления, применяемую в данной задаче.

Большинство нечетких систем используют продукционные правила для описания зависимостей между лингвистическими переменными. Типичное продукционное правило состоит из антецедента (часть ЕСЛИ ...) и консеквента (часть ТО ...). Антецедент может содержать более одной посылки. В этом случае они объединяются посредством логических связок И (ИЛИ).

Процесс вычисления нечеткого правила называется нечетким логическим выводом и подразделяется на два этапа: обобщение и заключение.

Пусть мы имеем следующее правило:

ЕСЛИ ИНТЕЛЛЕКТ = СРЕДНИЙ И КРЕАТИВНОСТЬ = ВЫСОКАЯ, ТО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ = СРЕДНЯЯ.

Пусть для конкретного претендента на вакантную должность степень принадлежности значения коэффициента ИНТЕЛЛЕКТА к терму СРЕДНИЙ равна 0,9, а степень принадлежности показателя КРЕАТИВНОСТЬ по тесту Торренса к терму ВЫСОКИЙ равна 0,8.

На первом шаге логического вывода необходимо определить степень принадлежности всего антецедента правила. Для этого в нечеткой логике существуют два оператора:  $MIN(...)$  и  $MAX(...)$ . Первый вычисляет минимальное значение степени принадлежности, а второй – максимальное значение. Когда применять тот или иной оператор, зависит от того, какой связкой соединены посылки в правиле. Если использована связка И, применяется оператор  $MIN(...)$ . Если же посылки объединены связкой ИЛИ, необходимо применить оператор  $MAX(...)$ . Ну а если в правиле всего одна посылка, операторы вовсе не нужны. Для нашего примера применим оператор  $MIN(...)$ , так как использована связка И. Получим следующее:  $MIN(0,9; 0,8) = 0,8$ .

Следовательно, степень принадлежности антецедента такого правила равна 0,8. Операция, описанная выше, отрабатывается для каждого правила в базе нечетких правил.

Следующим шагом является собственно вывод или заключение. Подобным же образом посредством операторов  $MIN/MAX$  вычисляется значение консеквента. Исходными данными служат вычисленные на предыдущем шаге значения степеней принадлежности антецедентов правил.

Для определения функций принадлежности, входящих в нечеткие правила, существует множество подходов и алгоритмов.

Рассмотрим возможность решения на основе теории нечетких множеств задачи определения уровня компетентности специалиста, т. е. отнесение его к одному из имеющихся нечетких классов, например, низкий, средний или высокий уровень компетентности. Данная задача является задачей нечеткой классификации объектов по качеству, вторая задача – это задача ранжирования объектов на основе нечеткой классификации.

Объектом классификации по качеству может служить явление или сущность как естественного, так и искусственного происхождения [1]. Каждая градация качества описывается значениями лингвистической переменной, обозначающей качество исследуемого объекта, например, низкое, среднее и высокое. Эти значения применимы ко всем признакам (свойствам), характеризующим объект.

Алгоритм построения классификационной модели включает в себя следующие этапы:

1. Определение перечня признаков  $y = (y_1, \dots, y_j, \dots, y_n)$ , характеризующих объект.
2. Определение диапазона значений каждого признака.
3. Задание значимости  $w_j$  каждого признака в общей оценке объекта.
4. Определение перечня значений лингвистической переменной, применяемых для оценки качества и в дальнейшем обозначаемые как классы  $K = (K_1, \dots, K_s, \dots, K_m)$ .
5. Задание функции принадлежности каждому классу. Выбирается форма функции принадлежности, характеризующая нечеткую неопределенность границ между соседними классами. Диапазон значений каждого признака делится на  $m$  частей – по числу классов.

Для классификации объектов выполняются следующие действия [1]:

1. Предъявляется набор значений признаков  $y(x) = (y_1(x), \dots, y_j(x), \dots, y_n(x))$ , характеризующих классифицируемый объект  $x$ .
2. Значение  $y_j(x)$  подставляется в функции принадлежности каждому классу, сформированному для  $j$ -го признака,  $j = 1, \dots, n$ . В результате получается  $s$  векторов принадлежности объекта всем классам.
3. На основании вектора принадлежности объекта всем классам рассчитывается мера принадлежности  $P(K_s)$  классифицируемого объекта  $s$ -му классу  $(s_1, \dots, s_m)$ , которая отражает как принадлежность  $\mu_{s,j}(x)$  объекта  $x$   $s$ -му классу по  $j$ -му признаку ( $j = 1, \dots, n$ ), так и вклад каждого признака в эту оценку:

$$P(K_s) = \sum_{j=1}^n w_j \mu_{s,j}(x).$$

4. После расчета функции принадлежности  $P(K_s)$  классифицируемого объекта  $x$  каждому классу,  $s = 1, \dots, m$ , определяется класс, которому объект  $x$  принадлежит в наибольшей степени:

$$K^* = \arg(\max\{P(K_1), \dots, P(K_s), \dots, P(K_m)\}). \quad (1)$$

5. Если задан порог классификации  $U$ , то в случае  $P(K_s) < U$  значение функции принадлежности  $P(K_s)$  признается недостаточным для отнесения к классу  $K^*$ .

Значение функции принадлежности  $\mu_{s,j}(x)$   $s$ -му классу по  $j$ -му признаку для трапециoidalной функции принадлежности, исходя из известного значения  $y(x)$ , рассчитываются в соответствии с [1].

Пересчет значения  $y_j(x)$  в диапазон  $[\mu_n, \mu_k]$  оси ординат осуществляется с помощью

коэффициента  $\frac{y_j - y_{j,i}}{y_{j,k} - y_{j,i}}$  для восходящей стороны трапеции и коэффициента  $1 - \frac{y_j - y_{j,n}}{y_{j,k} - y_{j,n}}$

для нисходящей стороны трапеции. Общая формула расчета значения функции  $\mu_{s,j}(x)$  по значению  $y_j(x)$  для любой части трапециoidalной формы имеет вид

$$\mu_{s,j}(x) = \frac{y_j(x) - y_{j,n}}{y_{j,k} - y_{j,n}} \cdot (\mu_k - \mu_n) + \mu_n.$$

Здесь  $y_{j,n}, y_{j,k}$  – значения  $j$ -го признака в начальной и конечной точках восходящей и нисходящей сторон трапеции. Значениям  $j$ -го признака на границах области неопределенности поставлены в соответствие значения  $\mu_n$  и  $\mu_k$  функции принадлежности  $s$ -му классу  $\mu_{s,j}(x)$ . На границах интервала функция  $\mu_{s,j}(x)$  принимает значения либо 0, либо 1. Отсюда разность  $\mu_k - \mu_n$  принимает следующие значения:

$$\mu_k - \mu_n = \begin{cases} 0 & \text{– для горизонтальной части трапеции;} \\ 1 & \text{– для левой стороны трапеции;} \\ -1 & \text{– для правой стороны трапеции.} \end{cases}$$

В табл. 1 представлены экспериментальные данные – значения показателей психометрического интеллекта, выбранные для оценки интеллектуальной компетентности специалиста. Подробное описание данных признаков представлено в [2, 3]. Проиллюстрируем возможности данного алгоритма на примере диагностики уровня (низкий, средний, высокий) интеллектуальной компетентности. Исходный набор признаков приведен в табл. 1.

**Таблица 1.** Экспериментальные данные (показатели структуры психометрического интеллекта)

	Ф.И.О.	Логический интеллект (Н)	Вербальный интеллект (В)	Абстрактное мышление (D)	Пространственное мышление (M)
1	Краснов	5,6	30,0	15,7	1,4
2	Петров	18,0	42,4	20,3	2,9
3	Сидоров	20,3	66,0	50,8	11,6
4	Иванов	43,7	20,1	40,6	5,3
5	Кривцов	15,2	43,2	20,3	2,9
6	Зайцев	43,2	20,3	15,2	4,1

На рис. 1–4 представлена модель классификации субъектов (по уровню их интеллектуальной компетентности) по четырем признакам, характеризующим их интеллектуальные качества (см. функции  $\mu_1(x) - \mu_4(x)$ ).

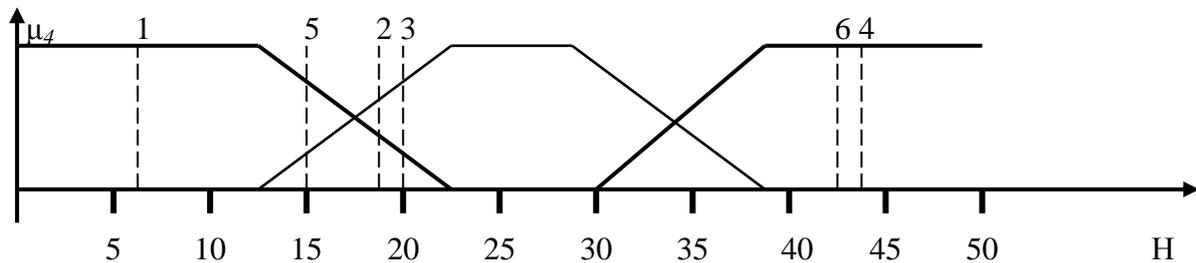


Рис. 1. Модель нечеткой классификации по показателю  $H$  (логический интеллект)

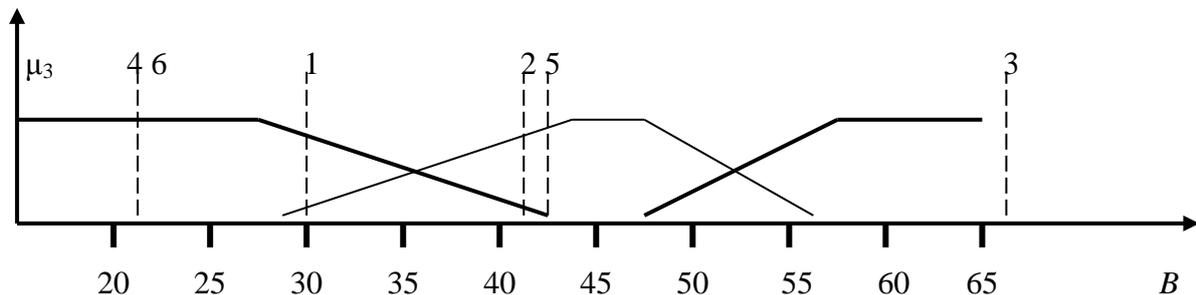


Рис. 2. Модель нечеткой классификации по показателю  $B$  (вербальный интеллект)

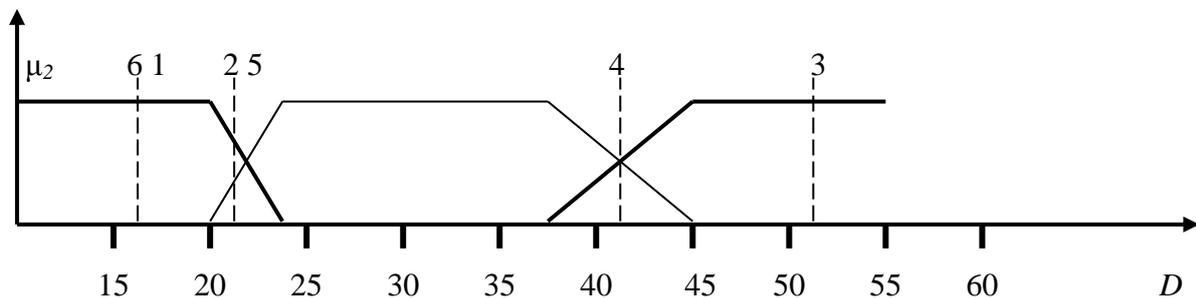


Рис. 3. Модель нечеткой классификации по показателю  $D$  (абстрактное мышление)

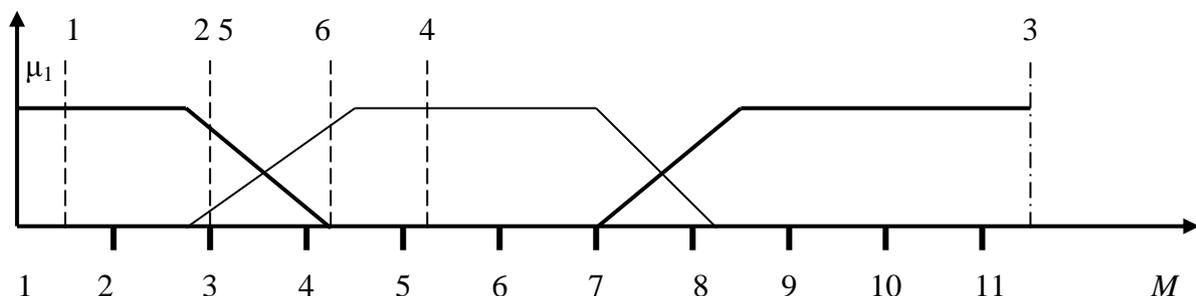


Рис. 4. Модель нечеткой классификации по показателю  $M$  (пространственное мышление)

Значения признаков для специалистов из табл.1 помечены их номерами. Признаки положим равноценными:  $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 0,25$ .

В качестве примера рассчитаем принадлежность различным уровням (низкий, средний, высокий) интеллектуальной компетентности специалиста Иванова (№ 4 в табл. 1), обозначив его через  $x_4$ .

В соответствии с приведенным выше алгоритмом необходимо выполнить следующие действия:

1. Определим меру принадлежности уровня интеллектуальной компетентности сотрудника Волкова классу  $K$  (низкий уровень) по каждому признаку:  $\mu_{1,1}(x_4) = 0$ ;  $\mu_{1,2}(x_4) = 1$ ;  $\mu_{1,3}(x_4) = 0$ ;  $\mu_{1,4}(x_4) = 0$ .
2. Определим принадлежность уровня интеллектуальной компетентности Волкова классу  $K$  (низкий уровень) по всем признакам  $P(K_1) = 0,25 * 1 = 0,25$ .
3. Определим меру принадлежности уровня интеллектуальной компетентности Волкова классу  $K_2$  (средний уровень) по каждому признаку:  $\mu_{2,1}(x_4) = 0$ ;  $\mu_{2,2}(x_4) = 0$ ;  $\mu_{2,3}(x_4) = 0,49$ ;  $\mu_{2,4}(x_4) = 1$ .
4. Определим принадлежность уровня интеллектуальной компетентности Волкова классу  $K_2$  (средний уровень) по всем признакам.  $P(K_2) = 0,25 * 0,49 + 0,25 * 1 = 0,3725$ .
5. Определим меру принадлежности уровня интеллектуальной компетентности Волкова классу  $K$  (высокий уровень) по каждому признаку:  $\mu_{3,1}(x_4) = 1$ ;  $\mu_{3,2}(x_4) = 0$ ;  $\mu_{3,3}(x_4) = 0,51$ ;  $\mu_{3,4}(x_4) = 0$ .
6. Определим принадлежность уровня интеллектуальной компетентности студента Волкова классу  $K_3$  (высокий уровень) по всем признакам:  $P = 0,25 - 1 + 0,25 - 0,51 = 0,3775$ .
7. В силу дополненности функций  $\mu_1(x) - \mu_4(x)$  [1]:  $P(K_1) + P(K_2) + P(K_3) = 1$ .
8. Определим класс, которому объект  $x_4$  принадлежит в наибольшей степени:  $K^* = \arg(\max\{0,25, 0,3725, 0,3775\}) = K_3$ .

Если первичные признаки объектов объединены более чем в одну группу, классификация выполняется внутри каждой группы. Затем векторы принадлежности классам  $K_1 = (K_{1,1}, \dots, K_{1,m}, K_{1,m})$ ,  $1 = 1, \dots, t$ , из всех  $t$  групп текущего уровня иерархии передаются в таблицу следующего уровня. Затем выполняется расчет принадлежности объекта классам по формуле (1). Поскольку аргументами этой функции являются значения функций принадлежности нижнего уровня иерархии, локальные таблицы не требуют задания модели классификации.

Приведенный выше алгоритм может быть успешно использован в задачах оценки уровня компетенций/компетентности для любых подсистем и компонентов компетентностной модели специалистов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ, проект №11-06-12010в.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микони С.В. Теория и практика рационального выбора. – М.: Маршрут, 2004. – 462 с.
2. Развитие и диагностика способностей / Отв. ред. В.Н. Дружинин, В.Д. Шадриков. – М.: Наука, 1991. – 181 с.
3. Козлова Н.В., Берестнева О.Г., Шелехов И.Л. Особенности личностного и профессионального становления студентов университета // Вестник Томского государственного педагогического университета, 2009. – № 9. – С. 103–107.

Поступила 21.12.2011 г.