



УДК 004.891

© М. А. Горькавый, В. А. Соловьев, 2010

НЕЧЕТКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КОМПЕТЕНТНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Горькавый М. А. – асп. кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», e-mail: idpo@knastu.ru; *Соловьев В. А.* – д-р техн. наук, проф. завкафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок», e-mail: керару@knastu.ru (КнАГТУ)

Рассматриваются вопросы проектирования системы оценки и формирования компетентности технического персонала в рамках системы аттестации промышленного предприятия. Предлагается подход к оценке компетентности, основанный на математическом аппарате нечетких множеств. Разработаны и приведены конечные реализации отдельных модулей экспертной системы.

Problems of designing the assessment system of technician's competence within industrial enterprise staff attestation are considered. The approach to the competence assessment based on mathematical apparatus of fuzzy sets is proposed. Final realizations of separate expert system modules are developed and presented.

Ключевые слова: экспертная система, компетентность, модель компетенций, нечеткая логика, автоматизация, критерии согласованности, оптимизация.

Введение

Система аттестации является неотъемлемой частью процесса управления персоналом любого предприятия, так как на основе аттестации производится большинство управленческих решений, связанных с ротацией кадров. На сегодняшний день имеющимся системам аттестации присущ ряд существенных недостатков, одним из которых является высокая погрешность в оценке аттестуемого. Погрешность оценки вызвана (помимо фактора субъективизма экспертов) применением в большинстве систем аттестации балльной шкалы, которая по своей природе является количественной. Использование количественной шкалы адекватно только, если оцениваемыми характеристиками объекта являются количественные показатели. В случае системы аттестации оцениваемыми характеристиками аттестуемого являются качественные показатели (знания, навыки, умения, личностные качества), оценка которых, выполненная посредством количественной шкалы, лишь в грубом приближении отражает действительность. В табл. 1 представлен фрагмент анкеты (полностью представленной в работе [1]), в котором оценивается компетенция сотрудника «Поведение в напряженной ситуации». Для оценки уровня компетенций используется 7-балльная шкала. Для каждой компетенции приведен список индикаторов поведения (в табл. 1, под номерами 7.1–7.7), каждому

индикатору поставлен в соответствие балл (от 1 до 7). При аттестации сотрудника эксперт (экспертная комиссия) выбирает индикатор, наилучшим образом характеризующий поведение аттестуемого. Показателем компетентности сотрудника является сумма баллов по всем компетенциям в рамках анкеты, образующим модель компетенций.

Таблица 1

Фрагмент анкеты аттестуемого			
7. Поведение в напряженной ситуации			
№	Наименование индикатора поведения	Отметка эксперта	Балл
7.1	Способен быстро ориентироваться в напряженной, сложной ситуации, принять необходимое решение и взять ответственность на себя		7
7.2	Способен к действию в напряженной, сложной ситуации и может взять ответственность на себя		6
7.3	Способен отвечать и действовать по необходимости в напряженной, сложной ситуации		5
7.4	Способен к действиям в напряженной, сложной ситуации, но не всегда возьмет на себя ответственность		4
7.5	Не всегда способен к эффективным действиям в напряженной, сложной ситуации, хотя ответственности не избегает		3
7.6	Вряд ли рискнет брать ответственность и решительно действовать в напряженной, сложной ситуации		2
7.7	Постарается всячески уклониться от участия или ответственности в такой ситуации		1

Очевидным недостатком такой шкалы является большой шаг дискретизации. Уменьшение шага дискретизации, преследующее достижение точности оценки, связано с необходимостью формирования и введения дополнительных индикаторов поведения. Перегрузка модели компетенций большим числом индикаторов увеличивает нагрузку на экспертную комиссию, усложняет процесс оценки, увеличивает время аттестации и т. д. Существенным недостатком шкалы также является невозможность выбора нескольких индикаторов поведения в рамках определенной компетенции, хотя аттестуемого можно в одинаковой или различной степени охарактеризовать несколькими индикаторами. Кроме того, в большинстве систем аттестации итоговым показателем компетентности аттестуемого является сумма баллов по всем компетенциям, определенным в анкете. Использование такого общего интегрального критерия снижает качество и достоверность заключительных выводов процедуры аттестации, так как полностью оставляет за кадром то, каким образом сотрудник набрал определенное количество баллов. Например, в такой системе два объективно различных по своим знаниям, умениям, навыкам и личностным характеристикам сотрудника могут набрать одинаковое количество баллов, и будут квалифицированы системой как «равные». Помимо этого, общий подход ко всем сотрудникам в рамках единой системы аттестации малоэффективен, поскольку не учитывает детальных особенностей, присущих определенным классам сотрудников, не представляет возможным дифференцировать значимость отдельных компетенций в модели, не обеспечивает необходимого уровня качества оценки различных классов сотрудников только одной (общей)



экспертной комиссией. Необходимо отметить, что еще одним серьезным пробелом существующих систем аттестаций является отсутствие определения и достижения согласованности мнений экспертов – членов экспертной комиссии.

Нечеткий подход к оценке компетентности технического персонала

Для решения перечисленных проблем и повышения эффективности системы аттестации Комсомольского-на-Амуре предприятия черной металлургии ОАО «Амурметалл» в рамках исследования, проводимого в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете, авторами разработан подход, направленный на совершенствование методик, механизмов и инструментов оценки и формирования компетентности технических сотрудников. Для автоматизации указанных процессов и в качестве ядра разрабатываемой системы оценки и формирования компетентности (СОФК) предлагается применение экспертной системы, основные аспекты которой (методики синтеза, архитектура, принципы формирования баз знаний, процедуры вывода и т. д.) разработаны авторами и представлены в работах [2–4].

Экспертная система строится по модульному принципу, элементарным модулем в ней является модель компетенций определенного класса сотрудников. Классификация осуществляется на основе объектно-ориентированного анализа методом концептуальной кластеризации. Индивидуальный подход к оценке компетентности конкретного сотрудника достигается путем автоматической подстройки внутренних параметров модели компетенций (характеризующей класс сотрудника) в соответствии со значениями показателей (определенных для каждого класса оборудования) конкретного оборудования или технологического комплекса (с которым ассоциирован сотрудник), например, надежности, ремонтпригодности, долговечности и т. д. Для формирования интегральных показателей, характеризующих состояние оборудования, были использованы стандартные термины и определения, представленные в [5, 6]. Модель компетенций представляет собой многоуровневую иерархическую структуру. Методика синтеза моделей компетенций, в том числе в автоматическом режиме, разработана авторами и представлена в работах [3, 4]. Каждая компетенция вышележащего уровня в модели является кластером компетенций нижнего уровня. Глубина и широта модели зависит от предъявляемых к разработке модели требований и класса сотрудника. Интегральная компетенция (компетенция верхнего уровня модели) отражает компетентность класса сотрудника, а ее название порождается названием класса. По компетенциям нижнего уровня, или примитивным (элементарным) компетенциям, непосредственно осуществляется оценка сотрудника, в частности, одной из примитивных компетенций может быть компетенция «Поведение в напряженной ситуации» (см. табл. 1). Содержание и уровни компетенций в модулях экспертной системы формируются с использованием математического аппарата нечетких множеств и нечеткой логики. Реализация выполняется посредством языка MATLAB.

Ключевой задачей настоящей работы является рассмотрение вопросов совершенствования шкалы оценки, определения и формирования согласованности мнения экспертной комиссии с целью повышения качества и объективности определения компетентности сотрудников. Авторами в качестве основы построе-

ния шкалы оценки примитивных компетенций предлагается использование теории нечетких множеств, фундаментальным понятием которой является лингвистическая переменная [7]. Таким образом, каждая компетенция класса сотрудников представляет собой лингвистическую переменную с пустым термножеством, название переменной аналогично названию соответствующей компетенции, например, «Поведение в напряженной ситуации» (см. табл. 1).

Универсальное множество лингвистической переменной класса представлено упорядоченным набором (от самого худшего проявления поведения в рамках компетенции к самому лучшему) качественных характеристик - индикаторов поведения, например, индикаторов 7.7–7.1 (см. табл. 1). Синтаксическое и семантическое правила могут определяться сразу или в процессе инициализации. Оценка конкретного сотрудника осуществляется посредством формирования экспертом нечеткого значения на множестве лингвистической переменной, название полученного значения лингвистической переменной (терма) определяется по схеме: «*Название_лингвистической_переменной:ФИО_Сотрудника :ФИО_Эксперта*». Для формирования значения лингвистической переменной – нечеткой переменной, необходимо определить семантическое правило, ставящее в соответствии нечеткой переменной X ее смысл $M(X)$ универсального множества, другими словами, необходимо сформировать функцию принадлежности нечеткой переменной.

Нечеткое множество, характеризующее терм, записывается следующим образом:

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_i u_i ,$$

где $\mu_i, i=1, \dots, n$, – степень принадлежности элемента u_i нечеткому множеству (терму) A . Для формирования функции принадлежности предлагается использовать один из трех методов:

- 1) количественного парного сравнения;
- 2) числового задания вектора, основных дискрет;
- 3) визуального задания функции принадлежности терма.

Первый из методов рассмотрен в работах [8, 9] и является наиболее точным, но требует больших затрат времени. Второй метод требует меньше времени, но точность формирования функции принадлежности в большей степени зависит от опыта эксперта. Третий метод по структуре аналогичен второму, график функции принадлежности задается («рисует») экспертом визуально, а вектор значений основных дискрет определяется программой, в частности, авторами предлагается использовать стандартную функцию `ginput` среды MATLAB.

В качестве примера на рис. 1, a отображена оценка сотрудника 1 экспертом 1 в виде числовых значений основных дискрет (значения обозначены жирными точками) на универсальном множестве лингвистической переменной «*Поведение в напряженной ситуации*». Универсальное множество представлено набором индикаторов поведения из табл. 1 в направлении увеличения их приоритетности. Цифрами 1–7 (ось абсцисс) обозначены индикаторы под номерами 7.7–7.1 соответственно. Таким образом, нечеткое множество,



характеризующее терм «Поведение в напряженной ситуации _ Сотрудник № 1 _ Эксперт № 1» (A_1), может быть представлено:

$$A_1 = 0/1 + 0/2 + 0,2/3 + 1/4 + 0/5 + 0/6 + 0/7.$$

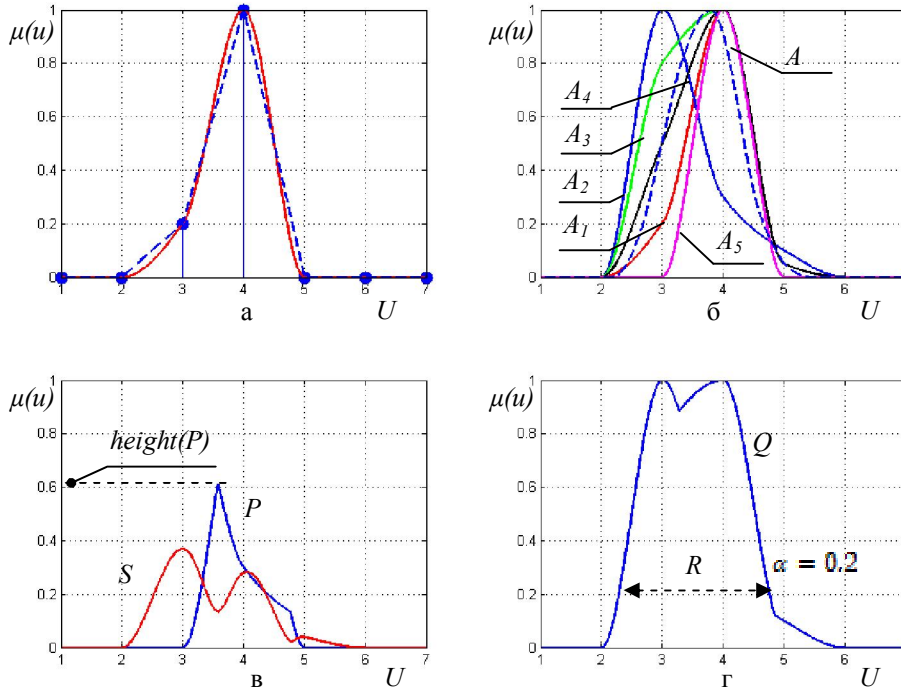


Рис. 1. Визуализация нечетких множеств, характеризующих термы лингвистической переменной «Поведение в напряженной ситуации» в ходе оценки сотрудника 1 пятью экспертами 1–5: а – функция принадлежности терма A_1 в дискретном виде (обозначено точками), в непрерывном виде (линейная интерполяция – пунктирная линия, кубическая интерполяция – сплошная линия); б – функции принадлежности термов A_1 – A_5 и A ; в – множества пересечения (P) и среднеквадратичного отклонения по точкам (S) термов A_1 – A_5 ; г – множество объединения термов A_1 – A_5

Нечеткое представление оценки компетентности сотрудника позволяет исключить недостатки балльной четкой шкалы, указанные в начале работы, т. е. становится возможным одновременное наличие нескольких индикаторов поведения в равной или разной степени, проявляющиеся в поведении сотрудника. Для того чтобы функция принадлежности нечеткого терма могла обрабатываться стандартными средствами пакета Fuzzy Logic Toolbox среды MATLAB, она должна быть непрерывной. Для этого авторами была разработана функция *mf_plot2*, дополняющая пакет Fuzzy Logic Toolbox, которая осуществляет интерполяцию по заданному дискретному набору известных значений. Функция также является адаптированной к ее использованию в графическом пользовательском интерфейсе пакета (GUI – Graphical User Interface). На рис. 1, а представлены графики результатов линейной (пунктирная линия) и кубической (сплошная линия) интерполяции терма A_1 . Таким образом, на универсальном множестве лингвисти-

ческой переменной был сформирован терм A_1 , отражающий субъективное мнение первого эксперта.

Для достижения заданного уровня объективности решения создается комиссия экспертов или экспертная комиссия – группа специалистов в равной степени компетентных в вопросах, по которым происходит оценка определенного класса сотрудников. В настоящей работе предлагается состав экспертной комиссии формировать следующим образом: количество – пять человек, из которых один непосредственный начальник оцениваемого сотрудника, второй вышестоящий начальник, третий, четвертый и пятый – сотрудники с должностями одного с оцениваемым сотрудников уровня, если оценка компетентности допускает самооценку, то в качестве пятого члена комиссии может выступать сам сотрудник. На рис. 1, б представлены нечеткие оценки сотрудника 1 экспертной комиссией (экспертами 1–5) – термы A_1 – A_5 соответственно. Дискретные множества:

$$A_2 = 0/1 + 0/2 + 1/3 + 0,3/4 + 0,1/5 + 0/6 + 0/7;$$

$$A_3 = 0/1 + 0/2 + 0,8/3 + 1/4 + 0/5 + 0/6 + 0/7;$$

$$A_4 = 0/1 + 0/2 + 0,5/3 + 1/4 + 0,05/5 + 0/6 + 0/7;$$

$$A_5 = 0/1 + 0/2 + 0/3 + 1/4 + 0/5 + 0/6 + 0/7.$$

Следующим шагом в оценке является определение интегрального (объективного) нечеткого множества, характеризующего мнение экспертной комиссии. Стандартным способом нахождения интегрального значения в четких балльных шкалах является определение среднего арифметического значения (либо взвешенного среднего). Принятие среднего значения в качестве объективной оценки аттестуемого без учета определения и анализа согласованности мнений экспертов является необоснованным. При нечеткой оценке авторами предлагается задачи определения и анализа согласованности субъективных мнений экспертов возложить на отдельную подсистему экспертной системы, представляющую собой систему нечеткого вывода (FIS – Fuzzy Inference System). В ходе анализа были выделены три основные причины несогласованности экспертных оценок:

- 1) предвзятость отдельных экспертов или эксперта;
- 2) недостаточность исходных данных для оценки;
- 3) разный базис оценки у отдельных экспертов внутри одной комиссии.

Проводя мероприятия по устранения этих причин, можно добиться требуемой степени согласованности мнений. Для определения согласованности решения в рамках нечеткой подсистемы предлагается ввести выходную лингвистическую переменную «Согласованность». Универсальное множество, термножество, синтаксис и семантика лингвистической переменной «Согласованность» определяются исходя из критериев качества, предъявляемых к модели компетенции. Оценка согласованности мнений осуществляется на основе анализа нечетких субъективных термов, сформированных экспертами. В качестве первого критерия оценки авторами предлагается использовать высоту нечеткого множества пересечения субъективных множеств:

$$height(P) = \sup_{u \in U} \mu_P(u) \rightarrow \max,$$



где $P = A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n$ – множество пересечения субъективных нечетких множеств $A_1 \dots A_n$, n – количество экспертов, U – универсальное множество, u – элемент универсального множества.

Для множества P характерны свойства выпуклости и субнормальности, в случае, если совпадают ядра всех множеств $A_1 \dots A_n$, множество P становится нормальным. Величина высоты множества пересечения показывает степень близости ядер субъективных множеств, но не учитывает фактор различия мощностей субъективных множеств. Для учета данного фактора предлагается ввести второй критерий оценки согласованности, выраженный следующим образом: в случае непрерывности универсального множества U :

$$\int_{u \in U} \mu_S(u) = \int_{u \in U} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_{A_i}(u) - \bar{\mu}(u))^2} \rightarrow \min,$$

где $\bar{\mu}(u) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_{A_i}(u)$; если универсальное множество U дискретное, то

$$\sum_{k=1}^m \mu_S(u_k) = \sum_{k=1}^m \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_{A_i}(u_k) - \bar{\mu}(u_k))^2} \rightarrow \min,$$

где $\bar{\mu}(u_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_{A_i}(u_k)$, n – количество экспертов, m – количество элементов

дискретного универсального множества. Множество S характеризуется функцией принадлежности, полученной путем определения среднеквадратичного отклонения точек функций принадлежности субъективных термов на всем универсальном множестве лингвистической переменной U . Для множества S характерны свойства невыпуклости и субнормальности. Графики функций принадлежности нечетких множеств S и P для субъективных термов $A_1 \dots A_n$ представлены на рис. 1, в.

Таким образом, разработанная авторами подсистема определения согласованности мнений содержит две входные лингвистические переменные ($height(P)$ и $Sum(S)$) и одну выходную лингвистическую переменную $co-ordination$ («Согласованность»). Основные параметры нечеткой подсистемы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные параметры нечеткой подсистемы определения согласованности мнений экспертов

Лингвистическая переменная	Терм	Параметры функции принадлежности терма	База знаний в индексном формате	
			№	Правило
$height(P)$	<i>Low</i>	[-0,36 -0,04 0,18 0,4]	1	1 1, 1 (1):1
	<i>Middle</i>	[0,16 0,45 0,78 0]	2	1 2, 1 (1):1
	<i>High</i>	[0,5 1 1,4 0]	3	1 3, 1 (1):1
$Sum(S)$	<i>Small</i>	[-1 0 0,62 0]	4	3 1, 3 (1):1
	<i>Middle</i>	[0,07 0,59 0,99 0]	5	3 2, 3 (1):1
	<i>Big</i>	[0,63 0,86 2,55 3,35]	6	3 3, 2 (1):1
$co-ordination$	<i>Not co-ordinated</i>	[-0,4 0 0,4 0]	7	2 3, 1 (1):1
	<i>Enough co-ordinated</i>	[0,1 0,5 0,9 0]	8	2 2, 2 (1):1
	<i>Completely co-ordinated</i>	[0,6 1 1,4 0]	9	2 1, 2 (1):1

Необходимо отметить, что универсальное множество выходной лингвистической переменной *co-ordination* – абстрактное. В настоящей работе значения из универсального множества переменной *co-ordination* находятся в диапазоне $[0, 1]$. Диапазоны универсальных множеств для переменных *height(P)* и *Sum(S)* – $[0, 1]$ и $[0, 2,5]$ соответственно.

В подсистеме реализована возможность вывода в одном из трех форматах:

1) в виде четкого числового значения (элемента из универсального множества выходной переменной), отражающего уровень или степень согласованности мнений;

2) в виде качественной характеристики – терма из терм-множества выходной лингвистической переменной;

3) в виде нечеткого множества, образуемого на универсальном множестве выходной лингвистической переменной в результате нечеткого вывода по базе знаний подсистемы и без проведения итоговой дефазификации.

Необходимо отметить, что реализация дискретного вывода (формат 2) организуется посредством выбора терма, порядковый номер которого в терм-множестве выходной лингвистической переменной равен консеквенту правила, в результате вывода по которому было получено нечеткое множество с максимальной мощностью среди других нечетких множеств, сформированных по остальным правилам базы знаний подсистемы:

$$"co-ordination" = fis.output(1).mf(num_{mf}).name,$$

где *fis* – имя структуры нечеткой подсистемы, num_{mf} – порядковый номер терма выходной лингвистической переменной, такой что

$$num_{mf} = fis.rule(r_{max}).consequent,$$

где r_{max} – порядковый номер правила в базе знаний подсистемы, такой что

$$\sum_{i=1}^m \mu_{r_{max}}(u_i) = \max \left\{ \sum_{i=1}^m \mu_{r_1}(u_i), \dots, \sum_{i=1}^m \mu_{r_k}(u_i), \dots, \sum_{i=1}^m \mu_{r_n}(u_i) \right\},$$

где $k = \overline{1, n}$ – порядковый номер правила в базе знаний подсистемы; $\mu_k(u_i)$ – функция принадлежности нечеткого множества, сформированного в результате вывода по r_k правилу.

Результаты вывода нечеткой подсистемы для субъективных множеств $A_1 \dots A_n$ представлены на рис. 2: в формате 1 – в виде четкого числового значения – точка с координатой z равной 0,538 (рис. 2, а) и точка с координатой x , равной 0,538 (рис. 2, б); в формате 2 – в виде имени терма “*Enough co-ordinated*”, визуализация дискретизации вывода представлена на рис. 2, а в виде трех зон (выделенных разными цветами), терму “*Enough co-ordinated*” в случае дискретного вывода соответствует средняя зона, выделенная желтым цветом; в формате 3 – в виде нечеткого выпуклого субнормального множества C , (рис. 2, б).

По итогам вывода подсистемы определения согласованности мнений выбирается тот или иной метод нахождения интегрального (объективного) нечеткого множества, характеризующего мнение экспертной комиссии. В настоящей работе, если уровень согласованности находится в допустимых пределах, объективный



терм определяется как нечеткое среднее субъективных термов на основе α -уровневого принципа обобщения [9]. Допустимыми пределами согласованности (для вывода в формате 2) являются значения: “*Completely co-ordinated*” и “*Enough co-ordinated*”. Тогда объективный терм рассчитывается по формуле

$$A = \bigcup_{\alpha \in [0;1]} (\underline{A}^\alpha, \overline{A}^\alpha),$$

где
$$\underline{A}^\alpha = \inf_{A_k^\alpha \in [\underline{A}_k^\alpha, \overline{A}_k^\alpha], k=1, n} (f(A_1^\alpha, \dots, A_k^\alpha, \dots, A_n^\alpha));$$

$$\overline{A}^\alpha = \sup_{A_k^\alpha \in [\underline{A}_k^\alpha, \overline{A}_k^\alpha], k=1, n} (f(A_1^\alpha, \dots, A_k^\alpha, \dots, A_n^\alpha));$$

$$A_k = \bigcup_{\alpha \in [0;1]} (\underline{A}_k^\alpha, \overline{A}_k^\alpha);$$

n – количество экспертов. В работе для реализации арифметических операций с нечеткими числами используется расширенная функция *fuzarith* пакета Fuzzy Logic Toolbox среды MATLAB.

Результаты определения объективного терма для $A_1 \dots A_n$ представлены на рис. 1, б (пунктирная линия).

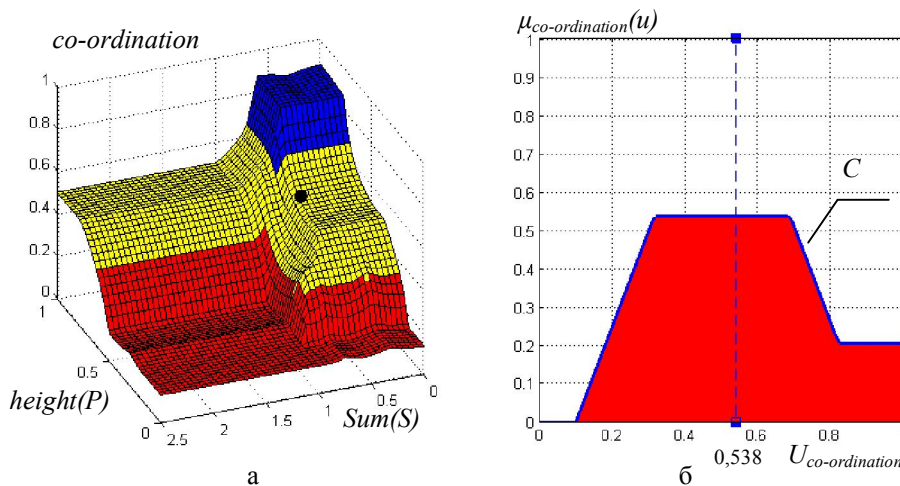


Рис. 2. Визуализация результатов вывода подсистемы определения согласованности мнений экспертов: а – в координатах универсальных множеств входных и выходной лингвистических переменных; б – на универсальном множестве выходной лингвистической переменной

Если результаты вывода нечеткой подсистемы определения согласованности мнений экспертов находятся в пределах недопустимых значений, то система должна выдать предупреждение оператору о несогласованности мнений в рамках определенной компетенции. Оператор совместно с руководителем экспертной комиссии должны принять меры по выяснению причины несогласованности и достижению согласованности экспертов. Если предупреждение системы о несогласованности оценок игнорируется в силу различных

причин, то система формирует объективный терм на основе исключительного алгоритма. Алгоритм определяется для каждой модели компетенций с учетом минимизации негативного влияния последствий, возникших в результате ошибки формирования объективного термина, связанной с необходимостью принятия решения на основе несогласованных исходных данных. В работе используется исключительный алгоритм, основанный на нахождении минимального значения из набора субъективных термов. Количество допустимых инициализированных на основе несогласованных исходных данных компетенций в рамках одной модели компетенций необходимо ограничивать в соответствии с определенными критериями качества.

Следует отметить, что важным фактором в оценке компетентности сотрудника является также степень постоянства проявления индикаторов поведения. Показатель постоянства проявления индикаторов напрямую зависит от мощностей нечетких множеств – оценок экспертов. В случае согласованности мнений экспертов в качестве показателя постоянства проявления индикаторов поведения предлагается использовать размах (R) ядра нечеткого множества, полученного сечением нечеткого множества $Q = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n$ на α - уровне (см. рис. 1, г).

Заключение

Предлагаемый авторами подход к оценке компетентности сотрудников промышленного предприятия позволяет исключить основные недостатки классических шкал оценки. Разработанные в рамках подхода механизмы определения и анализа согласованности мнений позволят достигнуть требуемого уровня качества и объективности оценки, а автоматизация процесса аттестации уменьшит необходимые финансовые и производственные затраты.

Библиографические ссылки

1. Карпова Н. Н. Основные принципы аттестации // Справочник по управлению персоналом. 2004. № 4.
2. Горькавый М. А., Соловьев В. А. К вопросу создания автоматизированной экспертной системы прогнозирования инновационных изменений на предприятиях металлургического комплекса // Электротехнические системы и комплексы: межвузовский сб. науч. тр. Вып. 17. Магнитогорск, 2009.
3. Горькавый М. А., Соловьев В. А. Синтез нечеткой модели компетенций технического персонала промышленного предприятия // Информатика и системы управления. 2010. № 1(23).
4. Горькавый М. А., Соловьев В. А. Автоматизация синтеза нечетких подсистем экспертной системы промышленного предприятия // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2010. № 1.
5. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины определения. М., 1989.
6. Надежность технических систем: справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; под ред. И. А. Ушакова. М., 1985.
7. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М., 1976.
8. Мальшев Н. Г., Берштейн А. В., Боженьюк А. В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М., 1991.
9. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М., 2007.