

УДК 330.43

## АГРЕГИРОВАННАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ СЛУЖАЩИХ КОМПАНИИ МЕТОДОМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

**Р. Р. Рзаев,**

канд. физ.-мат. наук, доцент, ведущий научный сотрудник

**Э. Р. Алиев,**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Институт кибернетики Национальной академии наук Азербайджана

Рассматривается задача оперативной оценки работы персонала в компаниях. Соответствующая информационная база данных формируется и периодически обновляется на основе предлагаемой схемы оценки профессиональных качеств. В результате применения метода нечеткого логического вывода синтезируются электронные «портреты» сотрудников компании и устанавливаются тренды их профессионального роста за отчетные периоды.

**Ключевые слова** — лингвистическая переменная, нечеткое множество, нечеткая импликация, нечеткое отношение.

### Введение

Периодическая оценка эффективности работы персонала, завоевывая в современных компаниях все большую популярность, является мощным инструментом кадровой политики. Традиционная методология ее проведения довольно проста, схема ясна и понятна: собрав и обработав информацию о каждом сотруднике, получить кадровый «портрет» компании на данном этапе.

Оценка деятельности персонала — процедура постоянная и регулярная. Она служит интересам компании и характеризуется непрерывающимся наблюдением за трудовым процессом в целом и работой каждого сотрудника в отдельности. Ежедневный контроль и «работа над ошибками» являются самым простым и надежным способом оценки эффективности персональной деятельности. Результат оценки — это установление соответствия конкретного сотрудника занимаемому им рабочему месту.

Ввиду того, что современный потребительский рынок довольно жесткий и конкурентный, каждой компании необходимо систематически «инвентаризировать» свои кадровые ресурсы на предмет соответствия динамики развития персонала динамике роста компании. Прежде всего необходимо уточнить, как при текущем ходе развития компании меняется рабочее место и что тогда происходит с сотрудником:

— адекватен ли он или не успевает за компанией;

— соответствует ли его зарплата тому, что реально показала оценка его деятельности.

Как правило, некоторые сотрудники не успевают за компанией. В результате происходит естественный отбор и ротация кадров.

В данное время оценка и управление эффективностью деятельности является одной из самых проблемных процедур в большинстве компаний, которые ее используют. Каждую компанию интересует, исполняется ли принятая стратегия сейчас и будет ли она выполняться далее. Руководству необходимы гарантии того, что каждый сотрудник на своем месте выполнит стоящие перед ним задачи в полном объеме и в строгом соответствии с принятыми планами. Поэтому для компании очень важно иметь адекватные информационные «портреты» своих сотрудников, которые предлагается формировать на основе оперативной (автоматизированной) обработки текущей персональной информации, упорядоченной по методике, изложенной в работе [1].

### Методика оценки профессиональных качеств

Оценке подлежат эффективность выполнения должностных обязанностей, текущий уровень профессиональных знаний и навыков, профессионально важные качества, дисциплинирован-

ность, а также лояльность и деловой внешний вид сотрудников компании. Каждый из критериев складывается в результате обработки соответствующих показателей. После этого полученная информация упорядочивается в виде табл. 1.

Своевременность выполнения должностных обязанностей служащим компании оценивается начальником соответствующего подразделения

путем установления процента выполнения незапланированных поручений в срок и процента выполнения плана работ на месяц в рамках данного подразделения.

Оценка эффективности исполнения обязанностей, профессионально важных качеств, профессиональной компетентности, дисциплинированности и прочих показателей сотрудников осу-

■ Таблица 1. Оценка работы сотрудника компании

Критерий		Оценка по пятибалльной шкале
<b>1.</b>	<b>Эффективность выполнения должностных обязанностей</b>	
1.1.	<i>Своевременность</i>	
1.1.1.	Соблюдение сроков выполнения незапланированных поручений	% выполнения незапланированных поручений в срок (средний показатель за 1 месяц) / 20
1.1.2.	Выполнение плана работ на месяц	% выполнения плана работ на месяц в рамках подразделения (средний показатель за 1 месяц) / 20
1.1.3.	Работник всегда в срок выполняет работу, в случае необходимости — досрочно	
Итого:		
1.2.	<i>Качество / полнота</i>	
1.2.1.	Работник качественно и ответственно выполняет свои обязанности, с выраженным умением работать на конечный результат	
1.2.2.	Соблюдение требований к работе	Количество нарушений (средняя оценка за аудит)
Итого:		
<b>2.</b>	<b>Уровень профессиональных знаний и навыков</b>	
2.1.	Сотрудник способен заменить любого коллегу в своем подразделении	
2.2.	Достаточно профессиональных знаний и навыков для выполнения должностных обязанностей	
2.3.	Я доверяю мнению, оценке, профессионализму сотрудника: его оценки взвешены, обоснованы и аргументированы	
Итого:		
<b>3.</b>	<b>Профессионально важные качества</b>	
3.1.	Понятливость: мне легко и удобно с ним работать: мы говорим на одном «языке», мне не приходится повторять и объяснять по нескольку раз	
3.2.	Инициативность: инициирует решение проблем, предлагает несколько вариантов решения, проявляет инициативу в разработке и внедрении нового	
3.3.	Речь: хорошо развита, четкая, правильная, без слов-«паразитов»	
3.4.	Коммуникативные навыки: открыт для общения, умеет доступно, понятно и логично изложить свою точку зрения, способен найти контакт с любым сотрудником	
Итого:		
<b>4.</b>	<b>Дисциплинированность</b>	
4.1.	Приходит на работу вовремя	
4.2.	Не уходит с работы раньше времени	
4.3.	Не отлучается с работы	
4.4.	Не нарушает режим обеденного перерыва	
Итого:		
<b>5.</b>	<b>Лояльность</b>	
5.1.	Принимает и разделяет ценности компании, приверженность интересам фирмы имеет для него большое значение	
<b>6.</b>	<b>Деловой внешний вид</b>	
6.1.	Преобладает деловой стиль в одежде, опрятен	

■ Таблица 2. Пятибалльная система оценивания служащего компании

Критерий	5 — да, всегда	4 — да, в большинстве случаев	3 — в 50 / 50 % случаев	2 — нет, в большинстве случаев	1 — нет, практически всегда
<b>Выполнение должностных обязанностей</b>					
<b>Своевременность:</b> работник всегда в срок выполняет работу, в случае необходимости — досрочно					
<b>Качество/полнота:</b> работник качественно и ответственно выполняет свои обязанности с выраженным умением работать на конечный результат					
<b>Уровень профессиональных знаний, навыков</b>					
Сотрудник способен заменить любого коллегу в своем подразделении					
Достаточно профессиональных знаний и навыков для выполнения должностных обязанностей					
Я доверяю мнению, оценке, профессионализму работника: его оценки взвешены, обоснованы и аргументированы					
<b>Профессионально важные качества</b>					
<b>Понятливость:</b> мне легко и удобно с ним работать: мы говорим на одном «языке», мне не приходится повторять и объяснять по нескольку раз					
<b>Инициативность:</b> инициирует решение проблем, предлагает несколько вариантов решения, проявляет инициативу в разработке и внедрении нового					
<b>Речь:</b> хорошо развита, четкая, правильная, без слов-«паразитов»					
<b>Коммуникативные навыки:</b> открыт для общения, умеет доступно, понятно и логично изложить свою точку зрения, способен найти контакт с любым сотрудником					
<b>Дисциплинированность</b>					
Приходит на работу вовремя					
Не уходит с работы раньше времени					
Не отлучается с работы					
Не нарушает режим обеденного перерыва					
<b>Прочие показатели</b>					
<b>Лояльность:</b> принимает и разделяет ценности компании, приверженность интересам фирмы для него имеет большое значение					
<b>Деловой внешний вид:</b> деловой стиль в одежде, опрятность					

ществляется непосредственно начальником подразделения и клиентами — директорами по направлениям и начальниками других подразделений. Показатели устанавливаются и фиксируются в ежемесячных отчетах по образцу табл. 2.

Ежемесячно начальник подразделения или аудиторы по системе качества проводят внутренний аудит, оценивая *качество* выполнения работником своих должностных обязанностей. Оценка за соблюдение требований к работе фиксируется в ежемесячных отчетах и выставляется по следующему принципу:

- 1 балл присваивается, если количество нарушений разных элементов больше 4 или одного элемента больше 7;
- 2 балла — если количество нарушений разных элементов 3–4 или одного элемента 5–7;

- 3 балла — количество нарушений разных элементов 2 или одного элемента 3–4;
- 4 балла — количество нарушений одного элемента не более 2;
- 5 баллов — нарушений нет.

#### Количественная оценка работы сотрудников компании методом нечеткого логического вывода

Оценка работы персонала компании является многокритериальной процедурой, подразумевающей применение композиционного правила агрегирования оценки каждого сотрудника на основе информации о предпочтениях лиц, ответственных за ее проведение. Как правило, эти предпочтения формулируются в виде нечетких

суждений. Поэтому для реализации оценки работы персонала целесообразно использовать правила нечеткого вывода «если-тогда».

На этих принципах рассмотрим задачу точечной оценки альтернатив в нечеткой информационной среде рассуждений. Для ее компьютерной реализации воспользуемся одним из методов нечеткого вывода, сущность которого состоит в следующем [2].

Пусть  $U$  является множеством альтернатив, а  $\tilde{A}$  — его нечетким подмножеством, принадлежность к которому элементов из  $U$  определяется соответствующими значениями из  $[0, 1]$  функции принадлежности. Предположим, что нечеткие множества  $\tilde{A}_j$  описывают возможные значения (термы) лингвистической переменной  $x$ . Тогда множество решений (альтернатив) можно характеризовать совокупностью критериев — значениями лингвистических переменных  $x_1, x_2, \dots, x_p$ . Например, в нашем случае значением «ЭФФЕКТИВНОЕ» — лингвистической переменной  $x_1 = \text{Исполнение текущей работы}$  или термом «НЕОБХОДИМЫЙ» — лингвистической переменной  $x_2 = \text{Уровень профессиональных знаний}$ . Совокупность лингвистических переменных (критериев), принимающих подобные значения, может характеризовать представления ответственного за аттестацию лица о достаточности рассматриваемых альтернатив. Тогда, полагая  $S = \text{Достаточность}$  также лингвистической переменной, типовое импликативное правило можно выразить как  $e_1$ : "Если  $x_1 = \text{НИЗКОЕ}$  и  $x_2 = \text{ХОРОШИЙ}$ , тогда  $S = \text{ВЫСОКАЯ}$ ".

В общем виде импликативные рассуждения ответственного за оценку персонала можно представить в следующем виде:

$$e_i : \text{ "Если } x_1 = \tilde{A}_{1i} \text{ и } x_2 = \tilde{A}_{2i} \text{ и } \dots \text{ и } x_p = \tilde{A}_{pi}, \text{ тогда } S = \tilde{B}_i \text{ "}. \quad (1)$$

Далее обозначим пересечение

$$x_1 = \tilde{A}_{1i} \cap x_2 = \tilde{A}_{2i} \cap \dots \cap x_p = \tilde{A}_{pi}$$

в виде  $x = \tilde{A}_i$ . В дискретном случае операция пересечения нечетких множеств определяется нахождением минимума соответствующих значений их функций принадлежности, т. е.

$$\mu_{\tilde{A}_i}(v) = \min_{v \in V} (\mu_{\tilde{A}_{1i}}(u_1), \mu_{\tilde{A}_{2i}}(u_2), \dots, \mu_{\tilde{A}_{pi}}(u_p)), \quad (2)$$

где  $V = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_p$ ;  $v = (u_1, u_2, \dots, u_p)$ ;  $\mu_{\tilde{A}_{ji}}(u_j)$  — степень принадлежности элемента  $u_j$  нечеткому множеству  $\tilde{A}_{ji}$ . Тогда высказывания вида (1) можно представить в следующей компактной форме:

$$e_i : \text{ Если } x = \tilde{A}_i, \text{ тогда } S = \tilde{B}_i. \quad (3)$$

В целях обобщения высказываний (1)–(3) обозначим базовые множества  $U$  и  $V$  в виде множества  $W$ . Тогда  $\tilde{A}_i$  соответственно будет нечетким подмножеством базового множества  $W$ , а  $\tilde{B}_i$  — нечетким подмножеством единичного интервала  $I = [0, 1]$ .

Для реализации правил используется операция импликации. В принятых обозначениях выберем импликацию Лукасевича

$$\mu_{\tilde{H}}(w, i) = \min_{w \in W} (1, 1 - \mu_{\tilde{A}}(w) + \mu_{\tilde{B}}(i)), \quad (4)$$

где  $\tilde{H}$  — нечеткое подмножество на  $W \times I$ ;  $w \in W$  и  $i \in I$ .

Аналогичным образом рассуждения (правила)  $e_1, e_2, \dots, e_q$  транспонируются в соответствующие нечеткие множества  $\tilde{H}_1, \tilde{H}_2, \dots, \tilde{H}_q$ . При этом, обозначая их произведение как  $\tilde{D} = \tilde{H}_1 \cap \tilde{H}_2 \cap \dots \cap \tilde{H}_q$ , для каждой пары  $(w, i) \in W \times I$  получим

$$\mu_{\tilde{D}}(w, i) = \min_{w \in W} (\mu_{\tilde{H}_j}(w, i)), \quad j = \overline{1, q}. \quad (5)$$

В этом случае вывод об удовлетворительности альтернативы, описанной нечетким множеством  $\tilde{A}$  из  $W$ , можно определить через композиционное правило

$$\tilde{G} = \tilde{A} \circ \tilde{D}, \quad (6)$$

где  $\tilde{G}$  является нечетким подмножеством единичного интервала  $I$ . Тогда в итоге имеем

$$\mu_{\tilde{G}}(i) = \max_{w \in W} (\min \mu_{\tilde{A}}(w), \mu_{\tilde{D}}(w, i)). \quad (7)$$

Сравнение альтернатив осуществляется на основе их точечных оценок. С этой целью в начале для нечеткого подмножества  $\tilde{C} \subset I$  определяются  $\alpha$ -уровневые множества ( $\alpha \in [0, 1]$ ) в виде  $C_\alpha = \{i | \mu_{\tilde{C}}(i) \geq \alpha, i \in I\}$ . Затем для каждого из них определяются средние значения соответствующих элементов  $M(C_\alpha)$ . В общем случае для множества,

состоящего из  $n$  элементов,  $M(C_\alpha) = \sum_{j=1}^n \frac{i_j}{n}, i \in C_\alpha$ .

В частности, для  $C_\alpha = \{a \leq i \leq b\}$  имеет место  $M(C_\alpha) = (a + b) / 2$ . В случае же  $0 \leq a_1 \leq b_1 \leq a_2 \leq b_2 \leq \dots \leq$

$$\leq a_n \leq b_n \leq 1 \text{ и } C_\alpha = \bigcup_{j=1}^n \{a_j \leq i \leq b_j\} \\ M(C_\alpha) = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{a_j + b_j}{2} (b_j - a_j)}{\sum_{j=1}^n (b_j - a_j)}. \quad (8)$$

Таким образом, точечную оценку нечеткого множества (альтернативы)  $\tilde{C}$  можно получить из равенства

$$F(\tilde{C}) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(C_2) d\alpha, \quad (9)$$

где  $\alpha_{\max}$  — максимальное значение на  $\tilde{C}$ .

Теперь предположим, что руководству компании необходима оперативная оценка деятельности своих работников по имеющейся текущей информации, причем за основу оно приняло следующие высказывания:

$e_1$ : "Если работник выполняет должностные обязанности, имеет необходимый уровень профессиональных знаний и навыков, а также является дисциплинированным, то он — удовлетворяющий (отвечает требованиям)";

$e_2$ : "Если он вдобавок к вышеприведенным требованиям имеет профессионально важные качества, то он более чем удовлетворяющий";

$e_3$ : "Если он дополнительно к условиям  $e_2$  проявляет лояльность и имеет деловой внешний вид, то он — безупречный";

$e_4$ : "Если он имеет все оговоренное в  $e_3$ , кроме профессионально важных качеств, то он очень удовлетворяющий";

$e_5$ : "Если работник выполняет должностные обязанности, имеет необходимый уровень профессиональных знаний и навыков, обладает профессионально важными качествами, но не является дисциплинированным, то он все же будет удовлетворяющим";

$e_6$ : "Если работник не выполняет свои должностные обязанности и не обладает профессионально важными качествами, то он — неудовлетворяющий".

Анализ приведенных высказываний позволяет выявить по отношению к предлагаемой модели шесть экзогенных критериев, используемых для оценки работников:  $X_1$  — выполнение должностных обязанностей;  $X_2$  — уровень профессиональных знаний и навыков;  $X_3$  — профессионально важные качества;  $X_4$  — дисциплинированность;  $X_5$  — лояльность;  $X_6$  — деловой внешний вид, — и один эндогенный признак  $Y$  — удовлетворительность. Тогда, определив возможные значения (нечеткие термы) лингвистических перемен-

ных  $X_i$  ( $i = 1, \dots, 6$ ) и  $Y$ , на базе приведенных высказываний можно построить нечеткие импликативные правила в следующем виде:

$e_1$ : "Если  $X_1 =$  ЭФФЕКТИВНОЕ и  $X_2 =$  НЕОБХОДИМЫЙ и  $X_4 =$  ДИСЦИПЛИНИРОВАННЫЙ, то  $Y =$  УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ";

$e_2$ : "Если  $X_1 =$  ЭФФЕКТИВНОЕ и  $X_2 =$  НЕОБХОДИМЫЙ и  $X_3 =$  ДОСТАТОЧНЫЕ и  $X_4 =$  ДИСЦИПЛИНИРОВАННЫЙ, то  $Y =$  БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ";

$e_3$ : "Если  $X_1 =$  ЭФФЕКТИВНОЕ и  $X_2 =$  НЕОБХОДИМЫЙ и  $X_3 =$  ДОСТАТОЧНЫЕ и  $X_4 =$  ДИСЦИПЛИНИРОВАННЫЙ и  $X_5 =$  ПРОЯВЛЯЕТ и  $X_6 =$  ОТМЕННЫЙ, то  $Y =$  БЕЗУПРЕЧНЫЙ";

$e_4$ : "Если  $X_1 =$  ЭФФЕКТИВНОЕ и  $X_2 =$  НЕОБХОДИМЫЙ и  $X_4 =$  ДИСЦИПЛИНИРОВАННЫЙ и  $X_5 =$  ПРОЯВЛЯЕТ и  $X_6 =$  ПРИГЛЯДНЫЙ, то  $Y =$  ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ";

$e_5$ : "Если  $X_1 =$  ЭФФЕКТИВНОЕ и  $X_2 =$  НЕОБХОДИМЫЙ и  $X_3 =$  ДОСТАТОЧНЫЕ и  $X_4 =$  НЕДИСЦИПЛИНИРОВАННЫЙ, то  $Y =$  УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ";

$e_6$ : "Если  $X_1 =$  НЕЭФФЕКТИВНОЕ и  $X_3 =$  НЕДОСТАТОЧНЫЕ, то  $Y =$  НЕУДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ".

Далее зададим лингвистическую переменную на дискретном множестве  $J = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$ . Тогда используемые в импликативных правилах ее значения — нечеткие термы — можно задать с помощью следующих функций принадлежности [3]:

- $\tilde{S} =$  УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ:  $\mu_{\tilde{S}}(x) = x, x \in J;$
- $M\tilde{S} =$  БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ:  $\mu_{M\tilde{S}}(x) = \sqrt{x}, x \in J;$
- $\tilde{P} =$  БЕЗУПРЕЧНЫЙ:  $\mu_{\tilde{P}}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = 1, \\ 0, & \text{если } x < 1, \end{cases}$
- $V\tilde{S} =$  ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ:  $\mu_{V\tilde{S}}(x) = x^2, x \in J;$
- $U\tilde{S} =$  НЕУДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ:  $\mu_{U\tilde{S}}(x) = 1 - x, x \in J.$

Предположим, что необходимо провести оперативную оценку пяти сотрудников компании, т. е. на конечном множестве  $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$ . Оперативная информация об их деятельности за истекший период упорядочена в виде табл. 3.

■ Таблица 3. Оценка базовых показателей сотрудников по пятибалльной шкале

Условное обозначение сотрудника	Эффективность выполнения должностных обязанностей $X_1$	Уровень профессиональных знаний и навыков $X_2$	Профессионально важные качества $X_3$	Дисциплинированность $X_4$	Лояльность $X_5$	Деловой внешний вид $X_6$
$u_1$	2,56	3,34	2,89	3,87	2,93	4,78
$u_2$	3,58	2,67	3,25	3,57	3,79	2,10
$u_3$	4,14	4,23	2,28	4,90	3,41	4,57
$u_4$	2,20	3,67	3,12	2,68	4,25	4,95
$u_5$	4,75	4,82	4,88	3,56	4,83	2,87



Далее на основе оценок базовых показателей построим нечеткие множества рассматриваемых шести критериев по опорному вектору  $(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$  с гауссовыми функциями принадлежности  $\mu_{\tilde{X}}(t) = \exp(-t-5)^2 / \sigma_k^2$ , где  $\sigma_k, k = 1, \dots, 6$  — плотность, подбираемая с учетом приоритетности соответствующего критерия<sup>1</sup>. При этом оценка сотруднику по каждому критерию выставляется в соответствии со значением соответствующей гауссовой функции, изменяющейся на  $[0, 5]$ . Например, оценка  $u_1$  по первому критерию будет  $\mu_{\tilde{X}_1}(2,56) = 0,3857$ .

Таким образом, при  $\sigma_1 = 2,5, \sigma_2 = 1,4, \sigma_3 = 2, \sigma_4 = 2,6, \sigma_5 = 2,8$  и  $\sigma_6 = 2$  принятые критерии будут иметь следующий вид:

• ЭФФЕКТИВНОЕ (выполнение работы):

$$\tilde{A}_1 = \frac{0,3857}{u_1} + \frac{0,7242}{u_2} + \frac{0,8884}{u_3} + \frac{0,2852}{u_4} + \frac{0,99}{u_5};$$

• НЕОБХОДИМЫЙ (уровень знаний):

$$\tilde{A}_2 = \frac{0,2451}{u_1} + \frac{0,0627}{u_2} + \frac{0,7390}{u_3} + \frac{0,4056}{u_4} + \frac{0,9836}{u_5};$$

• ДОСТАТОЧНЫЕ (профессиональные качества):

$$\tilde{A}_3 = \frac{0,3286}{u_1} + \frac{0,465}{u_2} + \frac{0,1573}{u_3} + \frac{0,4133}{u_4} + \frac{0,9964}{u_5};$$

• ДИСЦИПЛИНИРОВАННЫЙ:

$$\tilde{A}_4 = \frac{0,8279}{u_1} + \frac{0,739}{u_2} + \frac{0,9985}{u_3} + \frac{0,451}{u_4} + \frac{0,7358}{u_5};$$

• ПРОЯВЛЯЕТ (лояльность):

$$\tilde{A}_5 = \frac{0,5789}{u_1} + \frac{0,8297}{u_2} + \frac{0,7244}{u_3} + \frac{0,9308}{u_4} + \frac{0,9963}{u_5};$$

• ПРИГЛЯДНЫЙ (внешний вид):

$$\tilde{A}_6 = \frac{0,988}{u_1} + \frac{0,1222}{u_2} + \frac{0,9548}{u_3} + \frac{0,9994}{u_4} + \frac{0,3217}{u_5}.$$

С учетом этих формализмов нечеткие правила сформулируем как:

$e_1$ : "Если  $X_1 = \tilde{A}_1$  и  $X_2 = \tilde{A}_2$  и  $X_4 = \tilde{A}_4$ , тогда  $Y = \tilde{S}$ ";

$e_2$ : "Если  $X_1 = \tilde{A}_1$  и  $X_2 = \tilde{A}_2$  и  $X_3 = \tilde{A}_3$  и  $X_4 = \tilde{A}_4$ , тогда  $Y = M\tilde{S}$ ";

$e_3$ : "Если  $X_1 = \tilde{A}_1$  и  $X_2 = \tilde{A}_2$  и  $X_3 = \tilde{A}_3$  и  $X_4 = \tilde{A}_4$  и  $X_5 = \tilde{A}_5$  и  $X_6 = \tilde{A}_6$ , тогда  $Y = \tilde{P}$ ";

<sup>1</sup> Вообще конфигурация (плотность) гауссовой функции принадлежности, как, собственно, и сам набор правил, задается экспертами. Если бы авторы ставили перед собой задачу найти абсолютную (оптимальную) оценку деятельности сотрудника компании, то тогда следовало бы использовать Neural Network based Fuzzy Inference System [4].

$e_4$ : "Если  $X_1 = \tilde{A}_1$  и  $X_2 = \tilde{A}_2$  и  $X_4 = \tilde{A}_4$  и  $X_5 = \tilde{A}_5$  и  $X_6 = \tilde{A}_6$ , тогда  $Y = V\tilde{S}$ ";

$e_5$ : "Если  $X_1 = \tilde{A}_1$  и  $X_2 = \tilde{A}_2$  и  $X_3 = \tilde{A}_3$  и  $X_4 = \neg\tilde{A}_4$ , тогда  $Y = \tilde{S}$ ";

$e_6$ : "Если  $X_1 = \neg\tilde{A}_1$  и  $X_3 = \neg\tilde{A}_3$ , тогда  $Y = U\tilde{S}$ ".

Далее для левых частей этих правил вычислим функции принадлежности  $\mu_{\tilde{M}_i}(a), i = 1, \dots, 6$ . В частности, имеем:

$e_1$ :  $\mu_{\tilde{M}_1}(a) = \min\{\mu_{\tilde{A}_1}(a), \mu_{\tilde{A}_2}(a), \mu_{\tilde{A}_4}(a)\},$

$$\tilde{M}_1 = \frac{0,2451}{u_1} + \frac{0,0627}{u_2} + \frac{0,739}{u_3} + \frac{0,2852}{u_4} + \frac{0,7358}{u_5};$$

$e_2$ :  $\mu_{\tilde{M}_2}(a) = \min\{\mu_{\tilde{A}_1}(a), \mu_{\tilde{A}_2}(a), \mu_{\tilde{A}_3}(a), \mu_{\tilde{A}_4}(a)\},$

$$\tilde{M}_2 = \frac{0,2451}{u_1} + \frac{0,0627}{u_2} + \frac{0,1573}{u_3} + \frac{0,2852}{u_4} + \frac{0,7358}{u_5};$$

$e_3$ :  $\mu_{\tilde{M}_3}(a) = \min\{\mu_{\tilde{A}_1}(a), \mu_{\tilde{A}_2}(a), \mu_{\tilde{A}_3}(a), \mu_{\tilde{A}_4}(a), \mu_{\tilde{A}_5}(a), \mu_{\tilde{A}_6}(a)\},$

$$\tilde{M}_3 = \frac{0,2451}{u_1} + \frac{0,0627}{u_2} + \frac{0,1573}{u_3} + \frac{0,2852}{u_4} + \frac{0,3217}{u_5};$$

$e_4$ :  $\mu_{\tilde{M}_4}(a) = \min\{\mu_{\tilde{A}_1}(a), \mu_{\tilde{A}_2}(a), \mu_{\tilde{A}_4}(a), \mu_{\tilde{A}_5}(a), \mu_{\tilde{A}_6}(a)\},$

$$\tilde{M}_4 = \frac{0,2451}{u_1} + \frac{0,0627}{u_2} + \frac{0,7244}{u_3} + \frac{0,2852}{u_4} + \frac{0,3217}{u_5};$$

$e_5$ :  $\mu_{\tilde{M}_5}(a) = \min\{\mu_{\tilde{A}_1}(a), \mu_{\tilde{A}_2}(a), \mu_{\tilde{A}_3}(a), 1 - \mu_{\tilde{A}_4}(a)\},$

$$\tilde{M}_5 = \frac{0,1721}{u_1} + \frac{0,0627}{u_2} + \frac{0,0015}{u_3} + \frac{0,2852}{u_4} + \frac{0,2642}{u_5};$$

$e_6$ :  $\mu_{\tilde{M}_6}(a) = \min\{1 - \mu_{\tilde{A}_1}(a), 1 - \mu_{\tilde{A}_3}(a)\},$

$$\tilde{M}_6 = \frac{0,6143}{u_1} + \frac{0,2758}{u_2} + \frac{0,1116}{u_3} + \frac{0,5867}{u_4} + \frac{0,0036}{u_5}.$$

В итоге правила запишем в более компактной форме:

$e_1$ : "Если  $X = \tilde{M}_1$ , тогда  $Y = \tilde{S}$ ";

$e_2$ : "Если  $X = \tilde{M}_2$ , тогда  $Y = M\tilde{S}$ ";

$e_3$ : "Если  $X = \tilde{M}_3$ , тогда  $Y = \tilde{P}$ ";

$e_4$ : "Если  $X = \tilde{M}_4$ , тогда  $Y = V\tilde{S}$ ";

$e_5$ : "Если  $X = \tilde{M}_5$ , тогда  $Y = \tilde{S}$ ";

$e_6$ : "Если  $X = \tilde{M}_6$ , тогда  $Y = U\tilde{S}$ ".

Для преобразования этих правил воспользуемся импликацией Лукасевича (4). Тогда для каждой пары  $(u, j) \in U \times Y$  на  $U \times Y$  получим следующие нечеткие отношения:

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$u_1$	0,7549	0,8549	0,9549	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_2$	0,9373	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_1 = u_3$	0,2610	0,3610	0,4610	0,5610	0,6610	0,7610	0,8610	0,9610	1	1	1
$u_4$	0,7148	0,8148	0,9148	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_5$	0,2642	0,3642	0,4642	0,5642	0,6642	0,7642	0,8642	0,9642	1	1	1

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$u_1$	0,7549	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_2$	0,9373	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_2 = u_3$	0,8427	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_4$	0,7148	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_5$	0,2642	0,5804	0,7114	0,8119	0,8967	0,9713	1	1	1	1	1

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$u_1$	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	1
$u_2$	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	1
$R_3 = u_3$	0,8427	0,8427	0,8427	0,8427	0,8427	0,8427	0,8427	0,8427	0,8427	0,8427	1
$u_4$	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	1
$u_5$	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	1

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$u_1$	0,7549	0,7649	0,7949	0,8449	0,9149	1	1	1	1	1	1
$u_2$	0,9373	0,9473	0,9773	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_4 = u_3$	0,2756	0,2856	0,3156	0,3656	0,4356	0,5256	0,6356	0,7656	0,9156	1	1
$u_4$	0,7148	0,7248	0,7548	0,8048	0,8748	0,9648	1	1	1	1	1
$u_5$	0,6783	0,6883	0,7183	0,7683	0,8383	0,9283	1	1	1	1	1

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$u_1$	0,8279	0,9279	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_2$	0,9373	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_5 = u_3$	0,9985	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_4$	0,7148	0,8148	0,9148	1	1	1	1	1	1	1	1
$u_5$	0,7358	0,8358	0,9358	1	1	1	1	1	1	1	1

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$u_1$	1	1	1	1	0,9857	0,8857	0,7857	0,6857	0,5857	0,4857	0,3857
$u_2$	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9242	0,8242	0,7242
$R_6 = u_3$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9884	0,8884
$u_4$	1	1	1	1	1	0,9133	0,8133	0,7133	0,6133	0,5133	0,4133
$u_5$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9964

В результате пересечения отношений  $R_1, R_2, \dots, R_6$  окончательно получим общее функциональное решение

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$u_1$	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,7549	0,6857	0,5857	0,4857	0,3857
$u_2$	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9373	0,9242	0,8242	0,7242
$u_3$	0,2610	0,2856	0,3156	0,3656	0,4356	0,5256	0,6356	0,7656	0,8427	0,8427	0,8884
$u_4$	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7148	0,7133	0,6133	0,5133	0,4133
$u_5$	0,2642	0,3642	0,4642	0,5642	0,6642	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,6783	0,9964

Для вычисления удовлетворительности каждого из пяти сотрудников применим правило композиционного вывода в нечеткой среде:  $\tilde{E}_k = \tilde{G}_k \circ R$ , где  $\tilde{E}_k$  — степень удовлетворения  $k$ -го сотрудника;  $\tilde{G}_k$  — отображение  $k$ -го сотрудника в виде нечеткого подмножества на  $U^1$ . Тогда, согласно (7), имеем

$$\mu_{\tilde{E}_k}(j) = \max_u (\min(\mu_{\tilde{G}_k}(u), \mu_R(u))),$$

где  $\mu_{\tilde{G}_k}(u) = \begin{cases} 0, & u \neq u_k, \\ 1, & u = u_k. \end{cases}$

Отсюда следует, что  $\mu_{\tilde{E}_k}(j) = \mu_R(u_k, j)$ , т. е.  $\tilde{E}_k$  есть  $k$ -я строка матрицы  $R$ .

Теперь применим описанную выше процедуру для получения точечных оценок каждого из рассматриваемых сотрудников.

Итак, для первого сотрудника  $u_1$  имеем оценку в виде нечеткого множества

$$\tilde{E}_1 = \frac{0,7549}{0} + \frac{0,7549}{0,1} + \frac{0,7549}{0,2} + \frac{0,7549}{0,3} + \frac{0,7549}{0,4} + \frac{0,7549}{0,5} + \frac{0,7549}{0,6} + \frac{0,6857}{0,7} + \frac{0,5857}{0,8} + \frac{0,4857}{0,9} + \frac{0,3857}{1,0}.$$

Вычислим ее уровневые множества  $E_{j\alpha}$  и соответствующие мощности  $M(E_{j\alpha})$  по формуле

$$M(E_{j\alpha}) = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}:$$

- для  $0 < \alpha < 0,3857$ :  $\Delta\alpha = 0,3857$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,5$ ;
- для  $0,3857 < \alpha < 0,4857$ :  $\Delta\alpha = 0,1$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,45$ ;
- для  $0,4857 < \alpha < 0,5857$ :  $\Delta\alpha = 0,1$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,4$ ;
- для  $0,5857 < \alpha < 0,6857$ :  $\Delta\alpha = 0,1$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,35$ ;
- для  $0,6857 < \alpha < 0,7549$ :  $\Delta\alpha = 0,0692$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,3$ .

Далее по формуле (9) найдем точечную оценку удовлетворительности первого сотрудника

$$F(\tilde{E}_1) = \frac{1}{0,7549} \int_0^{0,7549} M(E_{12}) d\alpha = \frac{1}{0,7549} (0,5 \cdot 0,3857 + 0,45 \cdot 0,1 + 0,4 \cdot 0,1 + 0,35 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 0,0692) = 0,4419.$$

Аналогичными действиями устанавливаем точечные оценки для остальных сотрудников: для сотрудника  $u_2$   $F(\tilde{E}_2) = 0,4819$ ; для сотрудника  $u_3$   $F(\tilde{E}_3) = 0,7031$ ; для сотрудника  $u_4$   $F(\tilde{E}_4) = 0,4576$ ; для сотрудника  $u_5$   $F(\tilde{E}_5) = 0,7133$ . В качестве наиболее удовлетворяющего выбираем сотрудника, имеющего наибольшую точечную оценку. В приведенном примере это сотрудник  $u_5$ . На втором месте —  $u_3$ , на третьем —  $u_2$ , на четвертом —  $u_4$  и, наконец, на пятом —  $u_1$ .

### Программная реализация алгоритма

Для демонстрационного показа действия используемого алгоритма можно было бы ограничиться соответствующим инструментарием пакета прикладных программ MATLAB\Fuzzy Logic Toolbox или симуляцией на встроенном алгоритмическом языке MATLAB. Однако предлагаемая методика «инвентаризации кадровых ресурсов» служащих компании носит исключительно коммерческий характер и поэтому требует всеобъемлющей программной реализации.

В составе программного обеспечения SINAM Human Resources разработан модуль Persons Rating, предназначенный для формирования сравнительной оценки служащих компании. Встроенная система вывода посредством фаззификатора комбинирует как «четкие», так и нечеткие анкетные данные, ежедневную информацию о посещаемости сотрудников из автоматизированной контрольно-пропускной системы компании, а также поступающую из модуля Task Manager информацию о выполнении сотрудниками заданий и поручений. Для этого используется база данных ORACLE.

<sup>1</sup>  $\tilde{E}_k$  и  $\tilde{G}_k$  — нечеткие множества, построенные по опорным векторам.



Модуль Persons Rating использует различные справочники, в частности справочник Mark reasons, в котором хранятся перечень критериев (например, эффективность выполнения работы, деловой внешний вид и т. п.) и коэффициенты их важности. Коэффициенты могут быть проставлены вручную или вычислены с помощью соответствующих функций. Информация вносится в справочник с учетом особенностей конкретного предприятия и пожеланий его руководства, благодаря чему предлагаемая автоматизированная система вывода становится гибкой и универсальной.

В справочнике Rate levels отражены исходные оценки (такие как удовлетворительный, очень удовлетворительный, безупречный и т. п.), а также имплицитивные правила, по которым выставляются эти оценки.

Система вывода использует также субъективную информацию руководителя подразделения о качестве исполнения сотрудником назначенных ему поручений, о его лояльности, опрятности и деловом внешнем виде. Эта информация, оцениваемая руководителем в процентном отношении, приобщается в базу данных после трансляции на диапазон [0, 5]. Очевидно, чем чаще формируются подобные записи, тем ближе к реальности выводы системы.

Система апробирована в ICT-company SINAM Ltd/+ (Баку, Азербайджан).

### Заключение

Полученные агрегированные точечные оценки профессиональных качеств пяти произвольно выбранных сотрудников не являются абсолютными, так как набор используемых лингвистических правил и параметры гауссовых функций принадлежности не оптимизированы. Да эту задачу авторы перед собой и не ставили. На основе предлагаемой методики можно периодически оценивать профессиональные качества сотрудников компании и формировать динамические ряды, отражающие их профессиональное развитие. В свою очередь ранжирование сотрудников можно осуществлять путем сравнения соответствующих им трендов развития.

Метод нечеткого логического вывода можно применить и для выявления итоговой оценки по каждому критерию в отдельности. Например, для установления эффективности выполнения должностных обязанностей можно аналогично использовать следующий набор правил:

$e_1$ : "Если работник соблюдает план работы на месяц и старается соблюдать требования к работе, то он эффективен";

$e_2$ : "Если к указанным выше требованиям он еще и соблюдает сроки выполнения незапла-

нированных поручений, то он более чем эффективен";

$e_3$ : "Если к указанным в приведенных выше двух правилах требованиям работник выполняет работу досрочно, то он очень эффективен";

$e_4$ : "Если работник соблюдает план работы на месяц, а в случае необходимости — досрочно, соблюдает сроки выполнения незапланированных поручений, выполняет свои обязанности с выраженным умением работать на конечный результат и соблюдает все требования к работе, то он в высшей степени эффективен";

$e_5$ : "Если работник соблюдает план работы на месяц, требования к работе, качественно и ответственно выполняет свои обязанности, но не всегда соблюдает сроки выполнения незапланированных поручений, то он все равно эффективен";

$e_6$ : "Если работник не соблюдает план работы на месяц и служебные требования, то он неэффективен".

Хотя приведенные правила и не являются оптимальными, чисто произвольными их тоже нельзя назвать, так как их конструкция предполагает доминирование более существенных критериев над менее. В конце концов, руководство каждой компании вправе само выбирать набор лингвистических правил, исходя из специфики собственного предприятия.

### Литература

1. Васильев С. В., Жуковский А. И., Цуркер К. Эффективность работы организаций государственного и муниципального управления и их служащих // Проект Тасис «Региональное экономическое развитие и антикризисные стратегии». Подпроект-2: Рекомендации по повышению эффективности работы региональной администрации и думы через усиление профессиональной подготовки персонала в области делового администрирования. — Великий Новгород, 2002. — 70 с. <http://www.dialogvn.ru/aua/Effektiv.htm>
2. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 368 с.
3. Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. — N. Y.: American Elsevier Publishing Company, 1974. — 234 p.
4. Lin C. T., George Lee C. S. Supervised and Unsupervised Learning with Fuzzy Similarity for Neural Network — Based Fuzzy Logic Control Systems // Fuzzy Sets, Neural Networks, and Soft Computing / Edited by Yager R. R., Zadeh L. A. N. Y.: Van Nostrand Reinhold, 1994. P. 85–125.