Бессмертный Иван Валерьевич,

студент магистратуры,

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,

г. Оренбург, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В статье предложена разработка проектирования экспертной системы производящей подбор кандидатов.

Ключевые слова: экспертная система, подбор кандидатов, технология проектирования.

1. Математическая модель экспертной системы

Процесс планирования эксперимента подразумевает последовательное выполнение следующих основных задач:

- определение цели проводимого эксперимента;
- подготовка входных параметров;
- определение результативных данных, которые должны быть получены в результате проводимого эксперимента;
- определение адекватности эксперимента.

Цель эксперимента, проводимого в данном исследовании – выявить процент выдвиженцев на должность руководителя.

В ходе проводимого исследования в организации ГБУЗ «МИАЦ» были определены актуальные значения параметров выдвижения кандидатов на должность руководителя (Таблица 1.1) [1].

Таблица 1.1 – Список критериев выдвижения претендентов на руководящую должность

Стаж	Образование	Знание ПК	Лидерские качества	Семейное положение
от 5 лет	высшее	уверенный пользователь	выраженные	не состоит в браке

более 5 лет	среднее	продвинутый пользователь	ярко-выраженные	состоит в браке
нет	средне-специальное	обычный пользователь	ярко-выраженные	состоит в браке

Руководство предприятия рассматривает кандидатов на руководящую должность. Задача заключается в том, чтобы, выявить наилучшего претендента. Обсуждение среди членов руководства предприятия дало следующий результат [2]:

d1: "Если кандидат имеет стаж, образование и знание ПК, то он - удовлетворительный (отвечает всем требованиям)";

d2: "Если кандидат вдобавок к вышеописанным требованиям имеет лидерские качества, то он - хороший";

d3: "Если у кандидата дополнительно к условию d2 нет семейного положения, то он - безупречный";

d4: "Если кандидат имеет всё оговоренное в d3, кроме знания ПК, то он - очень хороший";

d5: "Если кандидат имеет стаж, и знание ПК, но не имеет высшего образования, он всё же будет удовлетворительным";

d6: "Если кандидат не имеет стажа, знания ПК и у него есть семейное положение, то он - неудовлетворительный".

Анализ приведенных информационных фрагментов позволяет выявить шесть критериев, используемых для принятия решения:

X1 – СТАЖ (нет, от 5 лет, более 5 лет);

X2 – ОБРАЗОВАНИЕ (высшее, среднее, средне-специальное);

X3 – ЗНАНИЕ ПК (обычный пользователь, уверенный пользователь, продвинутый пользователь);

X4 – ЛИДЕРСКИЕ КАЧЕСТВА (выраженные, не выраженные, ярко выраженные);

X5 – СЕМЕЙНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ (не состоит в браке, состоит в браке, гражданский брак);

Y— УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОСТЬ (безупречный, очень хороший, хороший, удовлетворяющий, неудовлетворяющий).

Для формулирования правил следует определить возможные значения лингвистических переменных X_i и *Y*, которые в дальнейшем будут использоваться для оценки кандидатов:

d1: "Если X1 = ОТ 5 ЛЕТ и X2 = ВЫСШЕЕ, и X3 = УВЕРЕННЫЙ, то Y = УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ";

d2: "Если X1 = ОТ 5 ЛЕТ и X2 = СРЕДНЕЕ, и X3 = ПРОДВИНУТЫЙ, и X4 = ВЫРАЖЕННЫЕ, то Y = ХОРОШИЙ";

d3: "Если X1 = БОЛЕЕ 5 ЛЕТ и X2 = ВЫСШЕЕ, и X3 = ПРОДВИНУТЫЙ, и X4 = ЯРКО ВЫРАЖЕННЫЕ, и X5 = НЕ СОСТОИТ В БРАКЕ, то Y = БЕЗУПРЕЧНЫЙ";

d4: "Если X1 = ОТ 5 ЛЕТ и X2 = ВЫСШЕЕ, и X4 = ВЫРАЖЕННЫЕ, и X5 = НЕ СОСТОИТ В БРАКЕ, то Y = ОЧЕНЬ ХОРОШИЙ";

d5: "Если X1 = ОТ 5 ЛЕТ и X2 = СРЕДНЕ-СПЕЦИАЛЬНОЕ, и X3 = УВЕРЕННЫЙ, то Y = УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ";

d6: "Если X1 = НЕТ и X3 = ОБЫЧНЫЙ, и X5 = СОСТОИТ В БРАКЕ, то Y = НЕУДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ".

Переменная *Y* задана на множестве *J* = {0; 0,1; 0,2; ...; 1}.

Значения переменной *Y* задаются при помощи следующих функций принадлежности:

S = УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ определяется как $_S(x) = x,\ x\ \ J;$

MS = ХОРОШИЙ определяется как $_{MS}(x) = x;\ x\ \ J;$

$$P = \text{БЕЗУПРЕЧНЫЙ} - \text{как}\ \mu_\rho(x) = \begin{cases} 1, \text{если } x = 1; \\ 0, \text{если } x < 1. \end{cases}\ x \in J$$

VS = ОЧЕНЬ ХОРОШИЙ определяется как $_{VS}(x) = x^2,\ x\ \ J,$

US = НЕУДОВЛЕТВОРЯЮЩИЙ определяется как $_{VS}(x) = 1 - x,\ x\ \ J.$

Выбор переменной производится из пяти разных кандидатов на множестве *U*, таком что $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$.

В предлагаемой задаче, оценки всех кандидатов заданы следующим набором нечетких множеств:

ЗНАНИЕ ПК (уверенный пользователь) С = *{0,6/u_1, 0,9/u_2, 1/u_3, 0,7/u_4, 1/u_5};*

ВЫСШЕЕ (образование) *B = {0,5/u_1,1/u_2, 0/u_3, 0,5/u_4, 1/u_5};*

ЛИДЕРСКИЕ КАЧЕСТВА (ярко выраженные) *D = {1/u_1, 0,3/u_2, 1/u_3, 0/u_4, 0/u_5};*

СЕМЕЙНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ (состоит в браке или нет) *E = {0/u_1, 0,5/u_2, 1/u_3, 0,8/u_4, 1/u_5};*

БОЛЕЕ 5 ЛЕТ (стаж работы) *A* = {0,8/u_1, 0,6u_2, 0,5/u_3, 0,1/u_4, 0,3/u_5}.

С учетом введенных обозначений правила d_1, ...,d_6 принимают вид:

d_1: «Если *X* = *A* и *B,* и *C,* то *Y* = *S*»;

d_2: «Если *X* = *A* и *B,* и *C*, и *D*, то *Y* = *MS*»;

d_3: «Если *X* = *A* и *B,* и *C*, и *D*, и *E*, то *Y* = *P*»;

d_4: «Если *X* = *A* и *B*, и *D*, и *E,* то *Y* = *VS*»;

d_5: «Если *X* = *A* и *B,* и *C*, то *Y* = *VS*»;

d_6: «Если *X* = не *A* и *C*, и *D* то *Y* = *US*».

Далее произведем расчет функции принадлежности для левых частей указанных правил:

для $d_1: \mu_{M_1}(u) = \min\left(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u)\right);$

M_1 ={0,5/u_1, 0,6/u_2, 0/u_3, 0,1/u_4, 0,3/u_5};

для $d_2: \mu_{M_2}(u) = \min\left(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_D(u)\right);$

M_2 ={0,5/u_1, 0,3/u_2, 0/u_3, 0/u_4, 0/u_5};

для $d_3: \mu_{M_3}(u) = \min\left(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_D(u), \mu_E(u)\right);$

M_3 ={0/u_1, 0,3/u_2, 0/u_3, 0/u_4, 0/u_5};

для $d_4: \mu_{M_4}(u) = \min\big(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_D(u), \mu_E(u)\big)$;

M_4 ={0/u_1, 0,5/u_2, 0,5/u_3, 0,1/u_4, 0,3/u_5};

для $d_5: \mu_{M_5}(u) = \min\big(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u)\big)$;

M_5 ={0/u_1, 0/u_2, 0,5/u_3, 0,1/u_4, 0/u_5};

для $d_6: \mu_6(u) = \min\big(1 - \mu_A(u), \mu_C(u), \mu_D(u)\big)$;

M_6 ={0,2/u_1, 0,1/u_2, 0/u_3, 0,3/u_4, 0/u_5}.

Теперь все правила можно отобразить в следующем виде:

d_1: «Если X=M_1, то Y =S»;

d_2: «Если X=M_2 , то Y = MS»;

d_3: «Если X=M_3 , то Y = P»;

d_4: «Если X =M_4 , то Y = VS»;

d_5: «Если X =M_5, то Y = VS»;

d_6: «Если X=M_6 ,то Y = US».

Затем, используя для дальнейших преобразований правил вида «Если X = M, то Y = Q» так называемую импликацию Лукасевича $\mu_D(u, j) = \min(1, 1\text{-}\mu_M/(u) + \mu_Y(j))$, для каждой из пар $(u, j) \in U$ x J получаем следующий набор нечётких отношений на $U \times J$:

		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	u1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1
	u2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1
D1 =	u3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	u4	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	u5	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1

D2 =

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
u1	0,5	0,82	0,8	1	1	1	1	1	1	1	1
u2	0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

D3 =

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
u1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1
u3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

D4 =

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
u1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u2	0,5	0,51	0,54	0,59	0,66	0,75	0,86	0,99	1	1	1
u3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u4	0,9	0,91	0,94	0,99	1	1	1	1	1	1	1
u5	0,7	0,71	0,74	0,79	0,86	0,95	1	1	1	1	1

D5 =

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
u1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1
u4	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

D6 =

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
u1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,8
u2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9
u3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u4	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,8	0,7
u5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

В результате полученного пересечения начальных отношений D_1, ..., D_6 определяем общее решение:

		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	u1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	0,9	0,8
	u2	0,4	0,5	0,54	0,59	0,66	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9
D =	u3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1
	u4	0,9	0,91	0,94	0,99	1	1	1	1	0,9	0,8	0,7
	u5	0,7	0,71	0,74	0,79	0,86	0,95	1	1	1	1	1

Для вычисления степени удовлетворительности каждой из конкретных альтернатив имеет смысл применить правило композиционного вывода в среде нечеткого множества:

$E_k = G_k \circ D$, где E_k – это степень удовлетворения самой альтернативы k;

G_k – отображение данной альтернативы k в виде общего нечеткого подмножества на U, D — представляет собой функциональное решение.

Тогда (1.1):

$$I?_{E_k}(i) = \max\left(min\left(I?_{G_k}(u), I?_D(u)\right)\right). \quad (1.1)$$

Кроме того, в предлагаемом случае $\mu_{G_k}(u) = 0$; $u \neq u_k$, $\mu_{G_k}(u) = 1$; $u = u_k$. Откуда $\mu_{E_k}(i) = \mu_D(u_k, i)$ Иными словами, E_k есть k-я строка в приведенной матрице D. Далее применим выше описанную процедуру для проведения сравнения нечетких подмножеств в конкретном единичном интервале с целью получения оптимального решения на основе полученных точечных оценок.

Для начальной альтернативы

E_1 ={0,5/0; 0,6/0,1; 0,7/0,2; 0,8/0,3; 0,9/0,4; 1/0,5; 1/0,6; 1/0,7; 1/0,8; 0,9/0,9; 0,8/1}.

Вычисляем множества $E_{j\alpha}$ и мощность такого уровневого множества $M(E_\alpha)$ по следующей формуле (1.2):

$$M(E_{j\alpha}) \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} \quad (1.2)$$

для $0 < \alpha < 0{,}5; d\alpha = 0{,}5$

$E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8; 0{,}9; 1\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}5$;

для $0{,}5 < \alpha < 0{,}6; d\alpha = 0{,}1$

$E_{1\alpha} = \{0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8; 0{,}9; 1\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}55$;

для $0{,}6 < \alpha < 0{,}7; d\alpha = 0{,}1$

$E_{1\alpha} = \{0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8; 0{,}9; 1\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}6$;

для $0{,}7 < \alpha < 0{,}8; d\alpha = 0{,}1$

$E_{1\alpha} = \{0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8; 0{,}9; 1\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}65$;

для $0{,}8 < \alpha < 0{,}9; d\alpha = 0{,}1$

$E_{1\alpha} = \{0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8; 0{,}9; 1\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}65$;

для $0{,}9 < \alpha < 1; d\alpha = 0{,}1$

$E_{1\alpha} = \{0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}65$.

Далее, найдем точную оценку E_1:

$F(E_1) = \frac{1}{\alpha_{max}} \int_0^{\alpha_{max}} M(E_{1\alpha}) d\alpha = 0{,}5 \cdot 0{,}5 + 0{,}55 \cdot 0{,}1 + 0{,}6 \cdot 0{,}1 + 0{,}65 \cdot 0{,}1 + 0{,}65 \cdot 0{,}1 + 0{,}65 \cdot 0{,}1 = 0{,}560$.

Аналогичным образом находим точечные оценки для **всех** других альтернатив:

- для второй альтернативы $F(E_2) = 0{,}656$;
- для третьей альтернативы $F(E_3) = 0{,}575$;
- для четвертой альтернативы $F(E_4) = 0{,}483$;
- для пятой альтернативы $F(E_5) = 0{,}562$.

В качестве лучшей из альтернатив выбираем ту, которая имеет наибольшую точечную оценку. В данном случае такой альтернативой является u_2, и, следовательно, она и будет являться наилучшей. На втором месте оказалась альтернатива u_3; на третьем – u_5, на четвертом – u_1, а самыми худшими из всех приведенных альтернатив являются u_4 и u_6.

2. Анализ результатов эксперимента

В ходе проведения данного исследования было проанализировано большое количество известных методов, на основании чего был выбран для известный метод «Нечеткого логического вывода на основе экспертной системы».

Формализация получаемых знаний при помощи набора правил позволило учитывать различную важность как критериев, так и самих правил. В рассматриваемой задаче эксперт считает весьма важным иметь у кандидатов на руководящую должность «ЛИДЕРСКИЕ КАЧЕСТВА». Исходя из этих соображений, в правилах d_2 и d_3 значением задаваемого критерия X_4 будет понятие «ЯРКО ВЫРАЖЕННЫЕ», которое описывается нечетким множеством D_1 следующего вида (2.1):

$$\mu_{D_1}(u) = \begin{cases} 1, \text{если } \mu_D(u) = 1; \\ 0, \text{если } \mu_D(u) < 1. \end{cases} \quad (2.1)$$

Правило d_4 можно вовсе исключить из рассмотрения, поскольку теперь кандидат, который не имеет никаких «ЛИДЕРСКИХ КАЧЕСТВ», не может являться «УДОВЛЕТВОРЯЮЩИМ» кандидатом на должность руководителя.

Тогда нечеткие множества M_i, соответствующие левым частям правил i = 1, ... 6, $i \neq 4$, будут иметь следующий вид (2.2):

$$I?_{??_1}(u) = \min\left(I?_A(u), I?_B(u), I?_C(u)\right);$$

$$??_1 = \{0{,}5/u_1,\ 0{,}6/u_2,\ 0/u_3,\ 0{,}1/u_4,\ 0{,}3/u_5\};$$

$$I?_{??_2}(u) = \min\left(I?_A(u), I?_B(u), I?_C(u), I?_D(u)\right);$$

$$??_2 = \{0{,}5/u_1,\ 0{,}3/u_2,\ 0/u_3,\ 0/u_4,\ 0/u_5\};$$

$$I?_{??_3}(u) = \min\left(I?_A(u), I?_B(u), I?_C(u), I?_D(u), I?_E(u)\right); \quad (2.2)$$

$$??_3 = \{0/u_1,\ 0{,}3/u_2,\ 0/u_3,\ 0/u_4,\ 0/u_5\};$$

$$I?_{??_5}(u) = \min\left(I?_A(u), I?_B(u), I?_C(u)\right);$$

$$??_5 = \{0/u_1,\ 0/u_2,\ 0{,}5/u_3,\ 0{,}1/u_4,\ 0/u_5\};$$

$$I?_6(u) = \min\left(1 - I?_A(u), I?_C(u), I?_D(u)\right);$$

$$??_6 = \{0{,}2/u_1,\ 0{,}1/u_2,\ 0/u_3,\ 0{,}3/u_4,\ 0/u_5\}.$$

Получим следующее функциональное решение и точечные оценки для альтернатив:

$$D = \begin{array}{c|ccccccccccc|} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ u1 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,9 & 0,8 \\ u2 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,9 \\ u3 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u4 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,9 & 0,8 & 0,7 \\ u5 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

$F(u_1)$ – 0,560;

$F(u_2)$ – 0,600;

$F(u_3)$ – 0,575;

$F(u_4)$ – 0,475;

$F(u_5)$ – 0,530.

Сравнение полученных в исследовании результатов показывает, что с повышением уровня значимости критерия X_4 несколько изменилось само ранжирование альтернатив: u_1 и u_5 поменялись своими местами. Указанный факт, при этом согласуется с исходным набором данных, поскольку кандидат u_1 имеет максимальное значение среди всех по критерию X_4, а u_6 имеет минимальное значение.

В Таблице 2.1 приведены итоговые результирующие лингвистические оценки различных альтернатив, полученные методом нечеткого вывода, а также соответствующие им общие значения мер сходства.

Таблица 2.1 – Результаты работы системы нечёткого вывода

Лингвистическая оценка	Альтернативы					
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6
КАНДИДАТ (Неудовлетворяющий)	0,15	0,1	0	0,21	0,34	0
КАНДИДАТ (Удовлетворяющий)	0,84	0,35	0,96	0,17	0,25	0,74

КАНДИДАТ (Хороший)	0,66	0,65	0,53	0,54	0,33	0,37
КАНДИДАТ (Очень хороший)	0,48	0,32	0,84	0,75	0,65	0,97
КАНДИДАТ (Безупречный)	0,44	0,52	0,96	0,82	0,43	0,21

Исходя из приведенных выше расчетов, можно сделать вывод о том, что среди всех прочих кандидаты u_1, u_3, u_6 являются удовлетворяющими (мера сходства здесь больше 0,5), а прочие кандидаты u_2, u_4, u_5, принадлежит сразу почти ко всем возможным категориям, поскольку они обладают достаточно однотипными значениями меры сходства. Однако при этом само значения меры сходства определено на интервале (0,17-0,43), что свидетельствует о достаточно слабом сходстве показателей с соответствующими понятиями. Подобные результаты следует скорее интерпретировать как неспособность конкретного объекта соответствовать рамкам имеющихся градаций при чётко и строго сформулированном наборе правил, чем как общее свойство быть похожим сразу на все категории. Также, альтернатива u_2 достаточно хорошо согласуется с понятием хорошего кандидата, а альтернативы u_1 и u_5 согласуются с понятием очень хорошего кандидата. Альтернатива u_4 более всего соответствует понятию очень хорошего кандидата, однако имеет весьма невысокое сходство с соответствующим этому нечетким прототипом [3].

Таким образом, процент выдвиженцев на должность руководителя составляет около 33,3%.

Для увеличения количества кандидатов на руководящую должность необходимо, главным образом, дополнить общую базу правил дополнительными критериями, соотносясь с которыми будет осуществляться подбор определенных кандидатов на руководящую должность, и в связи с этим в процентном соотношении увеличится количество выдвиженцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маликова С.Г. Экспертные системы в кадровой деятельности [Текст] / С.Г. Маликова // Трудовое право. – 2013. – №5.

2. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. [Текст] –М., Финансы и статистика, 2010.

3. Бохуа Н.К. Экспертные системы: опыт проектирования. / Н.К. Бохуа, В.А. Геловани, О.В. Ковригин. – М.: МНИИПУ. – 2011. – 292 с.