УДК 519.712.3

А.А. АЛИЕВ *

ОЦЕНКА ТЕКУЩЕЙ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАТЁЖЕСПОСОБНОСТИ

*Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

Анотація. *Пропонується збалансований підхід до оцінки кредитоспроможності фізичних осіб, оснований на застосуванні трьох методів оцінки поточної платежеспроможності, включаючи метод зваженого підсумовування експертних оцінок платежеспроможності, а також нечітких методів логічного висновку і максимінної згортки.*
Ключові слова: *показник платежеспроможності, експертна оцінка, коефіцієнт конкордації, нечітка безліч, нечіткий висновок.*

Аннотация. *Предлагается сбалансированный подход к оценке кредитоспособности физических лиц, основанный на применении трёх методов оценки текущей платёжеспособности, включая метод взвешенного суммирования экспертных оценок платёжеспособности, а также нечётких методов логического вывода и максиминной свёртки.*
Ключевые слова: *показатель платёжеспособности, экспертная оценка, коэффициент конкордации, нечёткое множество, нечёткий вывод.*

Abstract. *It is proposed a balanced approach to the assessment of the credit capacity of individuals, which is based on the use of three methods of assessing their current solvency, including a weighted summation of expert assessments of solvency, as well as fuzzy methods of inference and maximin convolution.*
Keywords: *solvency ratio, expert assessment, coefficient of concordance, fuzzy set, fuzzy conclusion.*

1. Введение

Существующие на сегодняшний день эконометрические модели для оценки кредитоспособности потенциальных заёмщиков финансовых средств страдают сложностью обеспечения текущими источниками информационных данных относительно большинства независимых (в том числе и качественных) переменных, необходимых для анализа их платёжеспособности. Сбалансированным считается подход, который сочетает в себе лучшие стороны каждого из методов оценки, что, в свою очередь, позволяет измерять и интерпретировать возможные риски в процессе кредитования физического лица (ФЛ).

В статье [1] нами рассмотрены нечёткие (аналитические) подходы к оценке кредитоспособности ФЛ, учитывающие как количественные, так и качественные показатели их текущей платёжеспособности. Отправным здесь являлось то, что в экспертных (или скоринговых) системах оценивания не всегда чётко прослеживаются причинно-следственные связи. Тем не менее, не отвергая данную предпосылку и исходя из желания сформулировать сбалансированный подход к оценке кредитоспособности ФЛ, в данной статье предлагаются три метода для оценки кредитоспособности, основанные на взвешенном суммировании экспертных показателей текущей платёжеспособности ФЛ, а также двух нечётких методов логического вывода и максиминной свёртки.

2. Постановка задачи

Предположим, что банк рассматривает совокупность n количественных и качественных показателей $X=\{x_1,x_2,...,x_n\}$, необходимых для оценки текущей кредитоспособности альтернативных ФЛ: $a_1,a_2,...,a_{10}$. До вынесения обобщённой оценки кредитоспособности a_k $(k=1\div 10)$ показатели x_i оцениваются m экспертами КБ. Каждому j-му эксперту предлагается сформировать ранговую оценку r_{ij} по каждому i-му показателю платёжеспособности (ПП) и нормированное значение этой оценки – α_{ij}, при условии, что

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_{ij} = 1 \quad (j = 1 \div m). \qquad (1)$$

В результате ПП оценивается на основе двух методов экспертизы: путём сравнительной качественной оценки ПП – методом простого ранжирования (или методом предпочтений экспертов) и путём количественной оценки параметров ПП – методом задания весов (нормированных значений) ПП. Поэтому следует определить степень согласованности экспертных оценок приоритетности ПП, идентифицировать обобщённые веса ПП и на этой основе получить итоговую взвешенную оценку кредитоспособности заявленного из списка ФЛ. Для компиляции суммарного уровня кредитоспособности ФЛ на основе качественных характеристик ПП, оказывающих на него существенные влияния, необходимо адаптировать нечёткую модель многокритериальной оценки уровня кредитоспособности посредством применения системы нечёткого вывода.

3. Степень согласованности экспертных оценок

Для текущей многокритериальной оценки платёжеспособности потенциальных заёмщиков кредитов в [1] за основу был выбран список ПП, который после некоторых преобразований, связанных с вычислением финансовых коэффициентов платёжеспособности ФЛ, компилирован в виде следующих десяти ПП: x_1 – текущий и перспективный совокупный чистый доход, x_2 – объём депозитных вкладов, x_3 – обеспечение кредита и его ликвидность, x_4 – *PTI* (Payment-to-Income Ratio), x_5 – *OTI* (Obligations-to-Income Ratio), x_6 – коэффициент платёжеспособности, x_7 – общее материальное положение, x_8 – социальная стабильность, x_9 – возраст, x_{10} – кредитная история.

Теперь предположим, что путём независимого анкетирования 15-ти профильных специалистов определены экспертные оценки по перечисленным ПП x_i $(i = 1 \div 10)$. Каждому эксперту предлагалось расположить ПП по принципу: наиболее важный фактор обозначить цифрой «1», следующий менее важный – цифрой «2» и далее по убыванию порядка предпочтения. Полученные таким образом ранговые оценки сведены в табл. 1.

Таблица 1. Ранжирование ПП в порядках предпочтений экспертов

Эксперт	Оцениваемые ПП и их ранговая оценка (r_{ij})									
	Текущий и перспективный совокупный чистый доход	Объём депозитных вкладов	Обеспечение кредита и его ликвидность	*PTI*	*OTI*	Коэффициент платёжеспособности	Общее материальное положение	Социальная стабильность	Возраст	Кредитная история
	Обозначение и индексация ПП x_i $(i = 1 \div 10)$									
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
01	8	6	4	7	5	1	2	3	10	9
02	7	9	4	8	5	1	3	2	10	6
03	8	5	6	7	4	1	2	3	10	9
04	8	6	4	10	5	2	1	3	9	7
05	8	6	5	7	4	1	3	2	10	9
06	10	6	4	8	3	1	2	5	7	9
07	8	6	4	7	1	5	2	3	9	10
08	6	8	4	9	5	1	2	3	10	7

09	8	10	4	5	2	1	3	7	6	9
10	8	6	4	7	2	3	5	1	10	9
11	7	8	4	6	5	1	2	3	10	9
12	8	6	4	7	1	2	3	5	10	9
13	10	6	4	7	3	1	2	5	8	9
14	8	4	6	7	5	2	1	3	10	9
15	8	9	4	3	5	1	2	7	10	6
$\sum r_{ij}$	120	101	65	105	55	24	35	55	139	126

Чтобы выявить согласованность мнений экспертов на предмет ранговой корреляции приоритетностей ПП, воспользуемся коэффициентом конкордации Кендалла, который, согласно [2, 3], вычисляется по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}, \tag{2}$$

где m – число экспертов, n – число ПП, а S – отклонение экспертных заключений от среднего значения ранжирования ПП, которое, в свою очередь, вычисляется по формуле [2, 3]

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{m} r_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2, \tag{3}$$

где $r_{ij} \in \{1, 2, ..., 10\}$ – ранг i-го ПП, установленный j-ым экспертом $(j = 1 \div m)$.

В рассматриваемом случае, где $n = 10$ и $m = 15$ значение коэффициента конкордации Кендалла, рассчитанного по формуле (2), при величине $S = 14836{,}5$, вычисленной на основании (3) и данных из табл. 1, будет

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 14836{,}5}{15^2(10^3 - 10)} = 0{,}799273.$$

Величина $W = 0{,}799273$ заметно превышает ключевой порог согласованности 0,6, что свидетельствует о достаточно сильной согласованности экспертных оценок по десятибалльной системе относительно приоритетности ПП x_i $(i = 1 \div 10)$.

4. Идентификация весовых коэффициентов ПП ФЛ

Теперь предположим, что на начальном этапе независимого анкетирования каждому из 15-ти экспертов было предложено оценить нормированные значения ПП в соответствии с условием (1).

Таблица 2. Значения нормированных экспертных оценок ПП

Эксперт	Оцениваемые ПП и оценки их нормированных значений (α_{ij})									
	Текущий и перспективный совокупный чистый доход	Объём депозитных вкладов	Обеспечение кредита и его ликвидность	*PTI*	*OTI*	Коэффициент платёжеспособности	Общее материальное положение	Социальная стабильность	Возраст	Кредитная история
	Обозначение и индексация ПП x_i $(i = 1 \div 10)$									
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
01	0,035	0,060	0,112	0,045	0,085	0,250	0,190	0,168	0,025	0,030
02	0,039	0,019	0,107	0,027	0,075	0,300	0,153	0,214	0,013	0,053

Продолж. табл. 2

03	0,033	0,083	0,061	0,045	0,112	0,275	0,204	0,151	0,014	0,022
04	0,029	0,056	0,109	0,015	0,072	0,214	0,300	0,153	0,021	0,031
05	0,032	0,061	0,081	0,046	0,112	0,273	0,151	0,204	0,016	0,024
06	0,022	0,065	0,112	0,038	0,147	0,255	0,194	0,086	0,052	0,029
07	0,034	0,061	0,112	0,046	0,275	0,083	0,204	0,151	0,023	0,011
08	0,071	0,044	0,113	0,035	0,089	0,225	0,179	0,162	0,027	0,055
09	0,038	0,022	0,113	0,086	0,194	0,255	0,148	0,050	0,065	0,029
10	0,044	0,071	0,112	0,056	0,188	0,142	0,089	0,235	0,028	0,035
11	0,052	0,04	0,113	0,068	0,087	0,245	0,189	0,146	0,024	0,036
12	0,046	0,072	0,112	0,058	0,215	0,183	0,149	0,097	0,031	0,037
13	0,008	0,043	0,101	0,022	0,154	0,340	0,235	0,066	0,019	0,012
14	0,022	0,105	0,051	0,035	0,074	0,225	0,305	0,155	0,012	0,016
15	0,034	0,025	0,112	0,151	0,083	0,265	0,204	0,046	0,018	0,062
$\sum\alpha_{ij}$	0,539	0,827	1,521	0,773	1,962	3,530	2,894	2,084	0,388	0,482

Отправляясь от результатов проведённого анкетирования экспертов, сведённых в табл. 2, проведём расчёты для определения и последующей идентификации весовых коэффициентов ПП. Для этого определим групповые оценки ПП и числовые показатели, характеризующие компетентность экспертов. Среднее значение α_i по i-ой группе $(i = 1 \div 10)$ нормированных оценок ПП определим посредством выражения [4]

$$\alpha_i(t+1) = \sum_{j=1}^{m} w_j(t)\alpha_{ij}\,, \tag{4}$$

где $w_j(t)$ – весовой коэффициент, характеризующий степень компетентности j-го эксперта $(j = 1 \div m)$ на момент времени t. В данном случае процесс нахождения групповых оценок нормированных значений носит итерационный характер, который завершается при выполнении условия по всем $i = 1 \div 10$:

$$\max\{|\alpha_i(t+1) - \alpha_i(t)|\} \le \varepsilon\,, \tag{5}$$

где ε – допустимая точность расчётов, которая заранее устанавливается пользователем. В рассматриваемом случае пусть это будет $\varepsilon = 0{,}001$.

На начальном этапе $(t = 0)$ будем считать, что эксперты обладают одинаковыми степенями компетентности, то есть для каждого из них $w_j(0) = 1/m$. Тогда среднее значение по i-ой группе нормированных оценок ПП в первом приближении можно получить из частного равенства:

$$\alpha_i(1) = \sum_{j=1}^{15} w_j(0)\alpha_{ij} = \frac{1}{15}\sum_{j=1}^{15}\alpha_{ij}\,.$$

В этом случае усреднёнными оценками ПП по группам в 1-ом приближении будут соответствующие числа: $\{\alpha_1(1);\ \alpha_2(1);\ \alpha_3(1);\ \alpha_4(1);\ \alpha_5(1);\ \alpha_6(1);\ \alpha_7(1);\ \alpha_8(1);\ \alpha_9(1);\ \alpha_{10}(1)\}$={0,0359; 0,0551; 0,1014; 0,0515; 0,1308; 0,2353; 0,1929; 0,1389; 0,0259; 0,0321}.

Не трудно установить, что требование (5) для первого приближения не выполняется. Поэтому, переходя на следующий этап итерации, вычислим нормирующий множитель $\eta(1)$ в следующем виде [4]:

$$\eta(1)=\sum_{i=1}^{10}\alpha_i(1)\sum_{j=1}^{15}\alpha_{ij}=0,0359\cdot 0,5390+0,0551\cdot 0,8270+0,1014\cdot 1,5210+0,0515\cdot 0,7730+$$
$$+0,1308\cdot 1,9620+0,2353\cdot 3,5300+0,1929\cdot 2,8940+0,1389\cdot 2,0840+0,0259\cdot 0,3880+$$
$$+0,0321\cdot 0,4820=2,2198.$$

С учётом этого множителя показатели компетентности экспертов на данной итерации устанавливаются из следующих равенств [4]:

$$\begin{cases} w_j(1)=\dfrac{1}{\eta(1)}\sum\limits_{i=1}^{10}\alpha_i(1)\cdot\alpha_{ij}\ \ (j=\overline{1,\ 14}),\\ w_{15}(1)=1-\sum\limits_{j=1}^{14}w_j(1),\\ \sum\limits_{j=1}^{15}w_j(1)=1, \end{cases} \tag{6}$$

где $w_{15}(1)$ – показатель компетентности 15-го эксперта при $t=1$. Так, на основании (6) в 1-ом приближении показателями компетентности экспертов являются: $\{w_1(1);\ w_2(1);\ w_3(1);\ w_4(1);\ w_5(1);\ w_6(1);\ w_7(1);\ w_8(1);\ w_9(1);\ w_{10}(1);\ w_{11}(1);\ w_{12}(1);\ w_{13}(1);\ w_{14}(1);\ w_{15}(1)\}$={0,0533; 0,0556; 0,0551; 0,0556; 0,0543; 0,0528; 0,0481; 0,0506; 0,0505; 0,0460; 0,0521; 0,0482; 0,0603; 0,0560; 0,2614}.

Далее, применяя формулу (4) для $t=2$, вычислим среднюю групповую оценку ПП во 2-ом приближении. Другими словами, с учётом равенства $\alpha_i(2)=\sum\limits_{j=1}^{15}w_j(1)\alpha_{ij}$, средними оценками ПП по группам $i=1\div 10$ во 2-ом приближении будут: $\{\alpha_1(2);\ \alpha_2(2);\ \alpha_3(2);\ \alpha_4(2);\ \alpha_5(2);\ \alpha_6(2);\ \alpha_7(2);\ \alpha_8(2);\ \alpha_9(2);\ \alpha_{10}(2)\}$={0,0351; 0,0488; 0,1031; 0,0717; 0,1189; 0,2441; 0,1971; 0,1191; 0,0239; 0,0382}.

Как видно из следующего:

$$\max_i\{|\alpha_i(2)-\alpha_i(1)|\}=\max\{|0,0351-0,0359|;|0,0488-0,0551|;|0,1031-0,1014|;$$
$$|0,0717-0,0515|;|0,1189-0,1308|;|0,2441-0,2353|;|0,1971-0,1929|;|0,1191-0,1389|;$$
$$|0,0239-0,0259|;|0,0382-0,0321|\}=0.0017>\varepsilon,$$

условие (5) не выполняется. Поэтому, приступая к выполнению следующей итерации, вычислим нормирующий коэффициента $\eta(2)$:

$$\eta(2)=\sum_{i=1}^{10}\alpha_i(2)\sum_{j=1}^{15}\alpha_{ij}=0,0351\cdot 0,5390+0,0488\cdot 0,8270+0,1031\cdot 1,5210+0,0717\cdot 0,7730+$$
$$+0,1189\cdot 1,9620+0,2441\cdot 3,5300+0,1971\cdot 2,8940+0,1191\cdot 2,0840+0,0239\cdot 0,3880+$$
$$+0,0382\cdot 0,4820=2,2128.$$

В этом случае показателями компетентности экспертов $w_j(2)$ $(j=1\div 15)$ будут:

$\{w_1(2);\ w_2(2);\ w_3(2);\ w_4(2);\ w_5(2);\ w_6(2);\ w_7(2);\ w_8(2);\ w_9(2);\ w_{10}(2);\ w_{11}(2);\ w_{12}(2);\ w_{13}(2);\ w_{14}(2);\ w_{15}(2)\}$={0,0530; 0,0552; 0,0549; 0,0554; 0,0537; 0,0528; 0,0466; 0,0503; 0,0509; 0,0444; 0,0522; 0,0476; 0,0607; 0,0557; 0,2666}.

Средние групповые оценки ПП в 3-ем приближении получим из частного случая формулы (4), а именно как: $\alpha_i(3)=\sum_{j=1}^{15} w_j(2)\alpha_{ij}$. В данном случае средними оценками ПП по группам $i=1\div10$ соответственно будут: {α_1(3); α_2(3); α_3(3); α_4(3); α_5(3); α_6(3); α_7(3); α_8(3); α_9(3); α_{10}(3)}={0,0350; 0,0486; 0,1032; 0,0723; 0,1185; 0,2447; 0,1973; 0,1183; 0,0239; 0,0384}. При этом точность групповых оценок ПП в 3-ем приближении уже удовлетворяет условию (4):

$$\max_i\{|\alpha_i(3)-\alpha_i(2)|\}=\max\{|0,0350-0,0351|;|0,0486-0,0488|;|0,1032-0,1031|;$$
$$|0,0723-0,0717|;|0,1185-0,1189|;|0,2447-0,2441|;|0,1973-0,1971|;|0,1183-0,1191|;$$
$$|0,0239-0,0239|;|0,0382-0,0382|\}=0,000794<\varepsilon,$$

означающее, что значения групповых оценок ПП в 3-ем приближении: α_1(3); α_2(3); α_3(3); α_4(3); α_5(3); α_6(3); α_7(3); α_8(3); α_9(3); α_{10}(3)}, можно считать итоговыми весами x_i $(i=1\div10)$.

5. Вынесение итоговых оценок платёжеспособности ФЛ

Теперь следует приступить к вынесению, собственно, взвешенных оценок кредитоспособности ФЛ с учётом идентифицированных весов ПП. Для этого воспользуемся критерием формирования итоговой оценки:

$$C=\frac{\sum_{i=1}^{10}\alpha_i e_i}{\max_i\sum_{i=1}^{10}\alpha_i e_i}\times100\%, \tag{7}$$

где α_i – весовой коэффициент значимости i-го ПП, e_i – консолидированная экспертная оценка i-му ПП по десятибалльной системе оценивания.

Предположим, что группе, скажем, из m экспертов было предложено оценить по десятибалльной шкале десять ФЛ – потенциальных заёмщиков a_k $(k=1\div10)$ на предмет их текущей платёжеспособности по каждому из ПП x_i $(i=1\div10)$. В результате проведённого тестирования в соответствии с выражением

$$avr_{ki}=\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}e_{ij}^k \quad (k,i=1,2,...,10), \tag{8}$$

где e_{ij}^k – оценка j-го эксперта, данная им k-му потенциальному заёмщику кредита по i-му ПП, получены консолидированные (усреднённые) оценки ПП ФЛ a_k $(k=1\div10)$, на основе которых и критерия (7) и были сформированы итоговые оценки кредитоспособности ФЛ, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3. Итоговые оценки кредитоспособности ФЛ

ФЛ	Оцениваемые ПП										Соотношение итоговой оценки
	Текущий и перспективный совокупный чистый доход	Объём депозитных вкладов	Обеспечение кредита и его ликвидность	*PTI*	*OTI*	Коэффициент платёжеспособности	Общее материальное положение	Социальная стабильность	Возраст	Кредитная история	
	Весовые коэффициенты ПП α_i $(i=1\div10)$										
	0,0350	0,0486	0,1032	0,0723	0,1185	0,2447	0,1973	0,1183	0,0239	0,0384	
a_1	8,46	4,88	3,68	4,99	5,09	4,24	9,95	7,04	4,74	2,88	59,33
a_2	3,56	2,40	5,54	9,06	5,55	7,12	9,82	8,67	3,45	3,86	70,60
a_3	4,95	7,52	6,33	2,19	3,49	5,92	9,86	5,45	4,63	2,56	60,11
a_4	5,25	4,50	3,00	3,07	2,44	5,56	6,12	3,78	3,17	5,86	45,38
a_5	4,27	0,45	3,02	6,84	9,39	7,18	2,98	6,02	6,03	8,30	56,09
a_6	9,83	8,23	8,22	7,81	9,08	1,56	4,78	4,96	5,03	7,88	55,66
a_7	2,82	8,26	4,12	6,55	8,55	6,54	7,97	2,26	5,55	3,66	61,24
a_8	2,00	9,73	3,59	5,25	9,02	6,55	4,37	2,86	6,11	6,56	55,62
a_9	5,90	3,56	3,00	3,78	5,14	5,07	6,39	8,16	7,54	2,45	53,12
a_{10}	3,30	9,58	7,07	4,25	7,65	5,97	6,57	9,15	4,23	7,24	67,42

6. Оценка кредитоспособности ФЛ методом нечёткого логического вывода

Итак, будем считать, что после верификации сведений, представленных потенциальными заёмщиками кредитов a_k $(k=1\div10)$, их ПП интерпретированы группой экспертов по десятибалльной шкале, и полученные на основе (8) их усреднённые значения по всем ПП и ФЛ сведены в табл. 3. Полагая десятибалльную шкалу, то есть отрезок $U=[0;10]$, непрерывным универсумом, построим его нечёткие подмножества, описывающие качественные критерии оценки K_i $(i=1\div10)$ относительно соответствующих ПП x_i $(i=1\div10)$ ФЛ, например, таких как ВЫСОКИЙ (текущий и перспективный совокупный чистый доход), ДОСТАТОЧНЫЙ (объём депозитных вкладов) и т.д. В общем виде каждый такой критерий может быть интерпретирован в виде нечёткого множества [5]:

$$K_i=\{\mu_{K1}(u_1)/u_1;\ \mu_{K2}(u_2)/u_2;\ \ldots;\ \mu_{K10}(u_{10})/u_{10}\},\ (i=1\div10), \tag{9}$$

где $\mu_{Ki}(u_j)$ $(j=1\div10)$ – значение функции принадлежности усреднённой оценки u_j нечёткому множеству K_i. В качестве функции принадлежности выберем Гауссовскую функцию вида

$$\mu_{K_i}(u_j)=\exp[-(u_j-10)^2/\sigma_i^2],\quad u_j\in U\ \ (i,\ j=\overline{1,10}), \tag{10}$$

где σ_i^2 – дисперсия, выбранная единой для всех критериев как 16.

Таким образом, на основе усреднённых экспертных оценок качественные критерии оценки ПП опишем посредством следующих нечётких множеств:

• ВЫСОКИЙ (*текущий и перспективный совокупный доход*) – K_1={0,8622/a_1; 0,0749/a_2; 0,2031/a_3; 0,2441/a_4; 0,1285/a_5; 0,9982/a_6; 0,0399/a_7; 0,0183/a_8; 0,3497/a_9; 0,0605/a_{10}};

• ДОСТАТОЧНЫЙ (*объем депозитных вкладов*) – K_2={0,1943/a_1; 0,0271/a_2; 0,6809/a_3; 0,1510/a_4; 0,0033/a_5; 0,8222/a_6; 0,8276/a_7; 0,9955/a_8; 0,0749/a_9; 0,9890/a_{10}};

• ПРИЕМЛЕМОЕ (*обеспечение кредита и его ликвидность*) – K_3={0,0824/a_1; 0,2885/a_2; 0,4309/a_3; 0,0468/a_4; 0,0476/a_5; 0,8203/a_6; 0,1152/a_7; 0,0767/a_8; 0,0468/a_9; 0,5848/a_{10}};
• НИЗКИЙ (*показатель PTI*) – K_4={0,2083/a_1; 0,9463/a_2; 0,0221/a_3; 0,0497/a_4; 0,5357/a_5; 0,7410/a_6; 0,4753/a_7; 0,2441/a_8; 0,0891/a_9; 0,1266/a_{10}};
• НИЗКИЙ (*показатель OTI*) – K_5={0,2216/a_1; 0,2901/a_2; 0,0707/a_3; 0,0281/a_4; 0,9770/a_5; 0,9485/a_6; 0,8769/a_7; 0,9417/a_8; 0,2285/a_9; 0,7081/a_{10}};
• ВЫСОКИЙ (*показатель платёжеспособности*) – K_6={0,1257/a_1; 0,5955/a_2; 0,3533/a_3; 0,2917/a_4; 0,6083/a_5; 0,0117/a_6; 0,4732/a_7; 0,4753/a_8; 0,2189/a_9; 0,3624/a_{10}};
• ВЫСОКОЕ (*общее материальное положение*) – K_7={0,9998/a_1; 0,9980/a_2; 0,9988/a_3; 0,3903/a_4; 0,0460/a_5; 0,1821/a_6; 0,7729/a_7; 0,1379/a_8; 0,4429/a_9; 0,4794/a_{10}};
• ВЫСОКИЙ (*уровень социальной стабильности*) – K_8={0,5783/a_1; 0,8953/a_2; 0,2742/a_3; 0,0891/a_4; 0,3716/a_5; 0,2044/a_6; 0,0237/a_7; 0,0413/a_8; 0,8093/a_9; 0,9558/a_{10}};
• ПОДХОДЯЩИЙ (*возраст заявителя*) – K_9={0,1774/a_1; 0,0685/a_2; 0,1649/a_3; 0,0542/a_4; 0,3734/a_5; 0,2136/a_6; 0,2901/a_7; 0,3884/a_8; 0,6851/a_9; 0,1248/a_{10}};
• БЛАГОПРИЯТНАЯ (*кредитная история*) – K_{10}={0,0421/a_1; 0,0948/a_2; 0,0314/a_3; 0,3426/a_4; 0,8347/a_5; 0,7551/a_6; 0,0811/a_7; 0,4773/a_8; 0,0284/a_9; 0,6212/a_{10}}.

Полагая y лингвистической переменной «*степень кредитоспособности*» ФЛ, для оценки текущей платёжеспособности потенциальных заёмщиков выберем за основу следующие импликативные правила[1]:

d_1: «Если K_5=НИЗКИЙ и K_6=ВЫСОКИЙ и K_7=ВЫСОКОЕ и K_8=ВЫСОКИЙ, то y=УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ»;

d_2: «Если K_2=ДОСТАТОЧНЫЙ и K_4=НИЗКИЙ и K_5=НИЗКИЙ и K_6=ВЫСОКИЙ и K_7=ВЫСОКОЕ и K_8=ВЫСОКИЙ, то y=БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ»;

d_3: «Если K_1=ВЫСОКИЙ и K_2=ДОСТАТОЧНЫЙ и K_3=ПРИЕМЛЕМОЕ и K_5=НИЗКИЙ и K_6=ВЫСОКИЙ и K_7=ВЫСОКОЕ и K_8=ВЫСОКИЙ и K_{10}=БЛАГОПРИЯТНАЯ, то y=ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ»;

d_4: «Если K_1=ВЫСОКИЙ и K_2=ДОСТАТОЧНЫЙ и K_3=ПРИЕМЛЕМОЕ и K_4=НИЗКИЙ и K_5=НИЗКИЙ и K_6=ВЫСОКИЙ и K_7=ВЫСОКОЕ и K_8=ВЫСОКИЙ и K_9=ПОДХОДЯЩИЙ и K_{10}=БЛАГОПРИЯТНАЯ, то y=БЕЗУПРЕЧНАЯ»;

d_5: «Если K_2=ДОСТАТОЧНЫЙ и K_3=НЕПРИЕМЛЕМОЕ и K_4=НИЗКИЙ и K_5=НИЗКИЙ и K_6=ВЫСОКИЙ и K_7=ВЫСОКОЕ и K_8=ВЫСОКИЙ и K_9=НЕПОДХОДЯЩИЙ, то y=УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ»;

d_6: «Если K_3=НЕПРИЕМЛЕМОЕ и K_6=НЕВЫСОКИЙ и K_7=НЕВЫСОКОЕ и K_{10}=НЕБЛАГОПРИЯТНАЯ, то y=НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ».

Чтобы реализовать эти правила, введём нечёткие формализмы и для их правых частей. Иначе говоря, опишем упомянутые в правилах термы выходной лингвистической переменной y посредством нечётких подмножеств универсального дискретного множества J={0; 0.1; …; 1}, а именно: $\forall j \in J$ в виде следующих функций принадлежности [5, 6]: S=УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_S(j)=j$; MS=БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_S(j)=\sqrt{j}$; VS=ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{VS}(j)=j^2$; P=БЕЗУПРЕЧНАЯ: $\mu_P(j)=1$, при $j=1$, и $\mu_P(j)=0$, при $j<1$; US=НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{US}(j)=1-j$.

Тогда в принятых обозначениях правила $d_1 \div d_6$ запишутся как:

d_1: $(x_5=K_5)\&(x_6=K_6)\&(x_7=K_7)\&(x_8=K_8) \Rightarrow (y=S)$;

d_2: $(x_2=K_2)\&(x_4=K_4)\&(x_5=K_5)\&(x_6=K_6)\&(x_7=K_7)\&(x_8=K_8) \Rightarrow (y=MS)$;

---

[1] Эти правила, объективно отражающие причинно-следственные связи между качественными показателями платёжеспособности K_i $(i=1\div 10)$ и степенями кредитоспособности ФЛ, строятся на основе регулирующих высказываний похожей конструкции, которые каждый банк может адаптировать под свои специфические условия и требования. При этом для их формулирования совершенно не требуется наличие специальных математических знаний.

d_3: $(x_1=K_1)\&(x_2=K_2)\&(x_3=K_3)\&(x_5=K_5)\&\ldots\&(x_8=K_8)\&(x_{10}=K_{10}) \Rightarrow (y=VS)$;
d_4: $(x_1=K_1)\&(x_2=K_2)\& \ldots \&(x_9=K_9)\&(x_{10}=K_{10}) \Rightarrow (y=P)$;
d_5: $(x_2=K_2)\&(x_3=\neg K_3)\&(x_4=K_4)\&(x_5=K_5)\&\ldots\&(x_8=K_8)\ \&(x_9=\neg K_9) \Rightarrow (y=S)$;
d_6: $(x_3=\neg K_3)\&(x_6=\neg K_6)\&(x_7=\neg K_7)\&(x_{10}=\neg K_{10}) \Rightarrow (y=US)$.

Реализуя логическую операцию «&» путём нахождения минимума значений функций принадлежностей нечётких множеств из левых частей, сведём правила $d_1 \div d_6$ в следующий, ещё более компактный, вид:

d_1: $(x=M_1) \Rightarrow (y=S)$; $\mu_{M1}(u)=\min\{\mu_{K5}(u), \mu_{K6}(u), \mu_{K7}(u), \mu_{K8}(u)\}$;
d_2: $(x=M_2) \Rightarrow (y=MS)$; $\mu_{M2}(u)=\min\{\mu_{K2}(u), \mu_{K4}(u), \mu_{K5}(u), \mu_{K6}(u), \mu_{K7}(u), \mu_{K8}(u)\}$;
d_3: $(x=M_3) \Rightarrow (y=VS)$; $\mu_{M3}(u)=\min\{\mu_{K1}(u), \mu_{K2}(u), \mu_{K3}(u), \mu_{K5}(u), ..., \mu_{K8}(u), \mu_{K10}(u)\}$;
d_4: $(x=M_4) \Rightarrow (y=P)$; $\mu_{M4}(u)=\min\{\mu_{K1}(u), \mu_{K2}(u), \ldots, \mu_{K9}(u), \mu_{K10}(u)\}$;
d_5: $(x=M_5) \Rightarrow (y=S)$; $\mu_{M5}(u)=\min\{\mu_{K2}(u), 1\text{-}\mu_{K3}(u), \mu_{K4}(u), \mu_{K5}(u), ..., \mu_{K8}(u), 1\text{-}\mu_{K9}(u)\}$;
d_6: $(x=M_6) \Rightarrow (y=US)$, $\mu_{M6}(u)=\min\{1\text{-}\mu_{K3}(u), 1\text{-}\mu_{K6}(u), 1\text{-}\mu_{K7}(u), 1\text{-}\mu_{K10}(u)\}$,
где согласно [5]:
$M_1=\{0{,}1257/a_1;\ 0{,}2901/a_2;\ 0{,}0707/a_3;\ 0{,}0281/a_4;\ 0{,}0460/a_5;\ 0{,}0117/a_6;\ 0{,}0237/a_7;\ 0{,}0413/a_8;\ 0{,}2189/a_9;\ 0{,}3624/a_{10}\}$;
$M_2=\{0{,}1257/a_1;\ 0{,}0271/a_2;\ 0{,}0221/a_3;\ 0{,}0281/a_4;\ 0{,}0033/a_5;\ 0{,}0117/a_6;\ 0{,}0237/a_7;\ 0{,}0413/a_8;\ 0{,}0749/a_9;\ 0{,}1266/a_{10}\}$;
$M_3=\{0{,}0421/a_1;\ 0{,}0271/a_2;\ 0{,}0314/a_3;\ 0{,}0281/a_4;\ 0{,}0033/a_5;\ 0{,}0117/a_6;\ 0{,}0237/a_7;\ 0{,}0183/a_8;\ 0{,}0284/a_9;\ 0{,}0605/a_{10}\}$;
$M_4=\{0{,}0421/a_1;\ 0{,}0271/a_2;\ 0{,}0221/a_3;\ 0{,}0281/a_4;\ 0{,}0033/a_5;\ 0{,}0117/a_6;\ 0{,}0237/a_7;\ 0{,}0183/a_8;\ 0{,}0284/a_9;\ 0{,}0605/a_{10}\}$;
$M_5=\{0{,}1257/a_1;\ 0{,}0271/a_2;\ 0{,}0221/a_3;\ 0{,}0281/a_4;\ 0{,}0033/a_5;\ 0{,}0117/a_6;\ 0{,}0237/a_7;\ 0{,}0413/a_8;\ 0{,}0749/a_9;\ 0{,}1266/a_{10}\}$;
$M_6=\{0{,}0002/a_1;\ 0{,}0020/a_2;\ 0{,}0012/a_3;\ 0{,}6097/a_4;\ 0{,}1653/a_5;\ 0{,}1797/a_6;\ 0{,}2271/a_7;\ 0{,}5227/a_8;\ 0{,}5571/a_9;\ 0{,}3788/a_{10}\}$.

Для окончательного преобразования правил воспользуемся импликацией Лукасевича: $\mu_R(u, j)=\min\{1; 1\text{-}\mu_M(u)+\mu_Y(j)\}$ [7], где R – нечёткое подмножество на $X \times J$; $u \in X$, $j \in J$. В результате для каждой пары $(u, j) \in X \times J$ на $X \times J$ получим соответствующие нечёткие отношения в виде следующих матриц:

$$R_1 = \left[\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 0 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}4 & 0{,}5 & 0{,}6 & 0{,}7 & 0{,}8 & 0{,}9 & 1 \\ \hline
0{,}1257 & 0{,}8743 & 0{,}9743 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}2901 & 0{,}7099 & 0{,}8099 & 0{,}9099 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}0707 & 0{,}9293 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}0281 & 0{,}9719 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}0460 & 0{,}9540 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}0117 & 0{,}9883 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}0237 & 0{,}9763 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}0413 & 0{,}9587 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}2189 & 0{,}7811 & 0{,}8811 & 0{,}9811 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\
0{,}3624 & 0{,}6376 & 0{,}7376 & 0{,}8376 & 0{,}9376 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000
\end{array}\right];$$

$$R_2 = \left[\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 0 & 0,3162 & 0,4472 & 0,5477 & 0,6325 & 0,7071 & 0,7746 & 0,8367 & 0,8944 & 0,9487 & 1 \\ \hline
0,1257 & 0,8743 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0271 & 0,9729 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0221 & 0,9779 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0281 & 0,9719 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0033 & 0,9967 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0117 & 0,9883 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0237 & 0,9763 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0413 & 0,9587 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0749 & 0,9251 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,1266 & 0,8734 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000
\end{array}\right];$$

$$R_3 = \left[\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 0 & 0,01 & 0,04 & 0,09 & 0.16 & 0,25 & 0,36 & 0,49 & 0,64 & 0,81 & 1 \\ \hline
0,0421 & 0,9579 & 0,9679 & 0,9979 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0271 & 0,9729 & 0,9829 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0314 & 0,9686 & 0,9786 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0281 & 0,9719 & 0,9819 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0033 & 0,9967 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0117 & 0,9883 & 0,9983 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0237 & 0,9763 & 0,9863 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0183 & 0,9817 & 0,9917 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0284 & 0,9716 & 0,9816 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0605 & 0,9395 & 0,9495 & 0,9795 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000
\end{array}\right];$$

$$R_4 = \left[\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline
0,0421 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 1,0000 \\
0,0271 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 1,0000 \\
0,0221 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 1,0000 \\
0,0281 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 1,0000 \\
0,0033 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 1,0000 \\
0,0117 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 1,0000 \\
0,0237 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 1,0000 \\
0,0183 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 1,0000 \\
0,0284 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 1,0000 \\
0,0605 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 1,0000
\end{array}\right];$$

$$R_5 = \left[\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ \hline
0,1257 & 0,8743 & 0,9743 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0271 & 0,9729 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0221 & 0,9779 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0281 & 0,9719 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0033 & 0,9967 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0117 & 0,9883 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0237 & 0,9763 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0413 & 0,9587 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,0749 & 0,9521 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\
0,1266 & 0,8734 & 0,9734 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000
\end{array}\right];$$

$$
R_6 = \left[\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 1 & 0,9 & 0,8 & 0,7 & 0,6 & 0,5 & 0,4 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0 \\
\hline
0,0002 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9998 \\
0,0020 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9980 \\
0,0012 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9988 \\
0,6097 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0.9903 & 0,8903 & 0,7903 & 0,6903 & 0,5903 & 0,4903 & 0,3903 \\
0,1653 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9347 & 0,8347 \\
0,1797 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9203 & 0,8203 \\
0,2271 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9729 & 0,8729 & 0,7729 \\
0,5227 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9773 & 0,8773 & 0,7773 & 0,6773 & 0,5773 & 0,4773 \\
0,5571 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9429 & 0,8429 & 0,7429 & 0,6429 & 0,5429 & 0,4429 \\
0,3788 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9212 & 0,8212 & 0,7212 & 0,6212
\end{array}\right].
$$

Пересечение сформированных отношений определяет общее функциональное решение: $R=R_1 \cap R_2 \cap R_3 \cap R_4 \cap R_5 \cap R_6$, которое и будет отражать причинно-следственную связь между показателями платёжеспособности ФЛ, с одной стороны, и его агрегированной оценкой кредитоспособности с другой [6]:

$$
R = \left[\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\
\hline
a_1 & 0,8743 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9579 & 0,9998 \\
a_2 & 0,7099 & 0,8099 & 0,9099 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9729 & 0,9980 \\
a_3 & 0,9293 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9779 & 0,9988 \\
a_4 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,9719 & 0,8903 & 0,7903 & 0,6903 & 0,5903 & 0,4903 & 0,3903 \\
a_5 & 0,9540 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9967 & 0,9347 & 0,8347 \\
a_6 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9883 & 0,9203 & 0,8203 \\
a_7 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9763 & 0,9729 & 0,8729 & 0,7729 \\
a_8 & 0,9587 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9817 & 0,9773 & 0,8773 & 0,7773 & 0,6773 & 0,5773 & 0,4773 \\
a_9 & 0,7811 & 0,8811 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9716 & 0,9429 & 0,8429 & 0,7429 & 0,6429 & 0,5429 & 0,4429 \\
a_{10} & 0,6376 & 0,7376 & 0,8376 & 0,9376 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9395 & 0,9212 & 0,8212 & 0,7212 & 0,6212
\end{array}\right].
$$

Далее, применяем правило композиционного вывода в нечёткой среде $G=X \circ R$, в частности, $\mu_G(x)=\max\{\min[\mu_A(u),\ \mu_R(u,j)]\}$, где G является нечётким подмножеством единичного интервала J. Тогда обобщённую оценку платёжеспособности k-го заёмщика ($k=1 \div 10$) можно интерпретировать нечётким подмножеством универсума {0; 0,1; …; 1} со значениями функций принадлежности из k-ой строки матрицы R. В частности, нечётким выводом относительно обобщённой оценки кредитоспособности ФЛ a_1 будет нечёткое множество: $E_1=\{0{,}8743/a_1;\ 0{,}9579/a_2;\ 0{,}9579/a_3;\ 0{,}9579/a_4;\ 0{,}9579/a_5;\ 0{,}9579/a_6;\ 0{,}9579/a_7;\ 0{,}9579/a_8;\ 0{,}9579/a_9;\ 0{,}9998/a_{10}\}$. Для дефаззификации, то есть для числовой интерпретации этого множества вначале установим его уровневые множества $E_{1\alpha}$, а по формуле $M(E_{1\alpha})=\frac{1}{n}\sum_{r=1}^{n} j_r$, где $j_r \in E_{1\alpha}$, вычислим соответствующие им мощности $M(E_{1\alpha})$. В данном случае имеем:

- для $0<\alpha<0{,}8743$: $\Delta\alpha=0{,}8743$; $E_{1\alpha}=\{0;0{,}1;0{,}2;0{,}3;0{,}4;\ 0{,}5;\ 0{,}6;\ 0{,}7;\ 0{,}8;\ 0{,}9;\ 1\}$, $M(E_{1\alpha})=0{,}50$;
- для $0{,}8743<\alpha<0{,}9579$: $\Delta\alpha=0{,}0837$; $E_{1\alpha}=\{0{,}1;0{,}2;0{,}3;0{,}4;0{,}5;0{,}6;0{,}7;0{,}8;0{,}9;1\}$, $M(E_{1\alpha})=0{,}55$;
- для $0{,}9579<\alpha<0{,}9998$: $\Delta\alpha=0{,}0419$; $E_{1\alpha}=\{1\}$, $M(E_{1\alpha})=1$.

Тогда искомую обобщенную численную оценку кредитоспособности ФЛ a_1 получим следующим образом:

$$
F(E_1)=\frac{1}{\alpha_{\max}}\int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{1\alpha})d\alpha=\frac{1}{0{,}9998}\int_0^{0{,}9998} M(E_{1\alpha})d\alpha=[0{,}5\cdot 0{,}8743+0{,}55\cdot 0{,}0837+1\cdot 0{,}0419]=0{,}5251.
$$

Аналогичными действиями устанавливаются итоговые оценки и для остальных ФЛ: для a_2 – $F(E_2)$=0,5370; a_3 – $F(E_3)$=0,5129; a_4 – $F(E_4)$=0,3976; a_5 – $F(E_5)$=0,4909; a_6 – $F(E_6)$=0,4881; a_7 – $F(E_7)$=0,4841; a_8 – $F(E_8)$=0,4234; a_9 – $F(E_9)$=0,4284; a_{10} – $F(E_{10})$=0,4965. Обладатель наибольшей числовой оценки ФЛ имеет самую высокую степень кредитоспособности и, соответственно, является наиболее предпочтительным заёмщиком кредита. В нашем случае – это ФЛ a_2 с числовой оценкой 0,5370. Далее – по убыванию.

7. Оценка кредитоспособности ФЛ нечётким методом максиминной свёртки

Теперь предположим, что описанные выше посредством нечётких множеств качественные критерии K_i $(i=1\div 10)$ для оценки платёжеспособности альтернативных ФЛ $a_j\,(j=1\div 10)$ обладают одинаковыми степенями важности. Тогда ключевое правило для выбора наилучшего заёмщика будет иметь вид [8]:

$$K = K_1 \cap K_2 \cap ... \cap K_{10}\,. \tag{11}$$

В данном случае наилучшей считается альтернатива с максимальным значением функции принадлежности к нечёткому множеству K_i.

Операция пересечения нечётких множеств K_i $(i=1\div 10)$ осуществляется путём выбора минимального значения для j-го ФЛ по всем $i=1\div 10$, то есть на основе следующего равенства [8]: $\mu_K(a_j)$=min{$\mu_{Ki}(a_j)$}. Тогда на основании (11) имеем:

K={min{0,8622; 0,1943; 0,0824; 0,2083; 0,2216; 0,1257; 0,9998; 0,5783; 0,1774; 0,0421}; min{0,0749; 0,0271; 0,2885; 0,9463; 0,2901; 0,5955; 0,9980; 0,8953; 0,0685; 0,0948}; min{0,2031; 0,6809; 0,4309; 0,0221; 0,0707; 0,3533; 0,9988; 0,2742; 0,1649; 0,0314}; min{0,2441; 0,1510; 0,0468; 0,0497; 0,0281; 0,2917; 0,3903; 0,0891; 0,0542; 0,3426}; min{0,1285; 0,0033; 0,0476; 0,5357; 0,9770; 0,6083; 0,0460; 0,3716; 0,3734; 0,8347}; min{0,9982; 0,8222; 0,8203; 0,7410; 0,9485; 0,0117; 0,1821; 0,2044; 0,2136; 0,7551}; min{0,0399; 0,8276; 0,1152; 0,4753; 0,8769; 0,4732; 0,7729; 0,0237; 0,2901; 0,0811}; min{0,0183; 0,9955; 0,0767; 0,2441; 0,9417; 0,4753; 0,1379; 0,0413; 0,3884; 0,4773}; min{0,3497; 0,0749;0,0468; 0,0891; 0,2285; 0,2189; 0,4429; 0,8093; 0,6851; 0,0284}; min{0,0605; 0,9890; 0,5848; 0,1266; 0,7081; 0,3624; 0,4794; 0,9558; 0,1248; 0,6212}}.

В итоге оптимальную альтернативу (или наиболее платёжеспособного заёмщика) находим из равенства: max{$\mu_K(a_j)$}={0,0421; 0,0271; 0,0221; 0,0281; 0,0033; 0,0117; 0,0237; 0,0183; 0,0284; 0,0605}. Максимальное значение 0,0605 10-ой компоненты результирующего вектора $\mu_K(a_k)$ склоняет к выбору ФЛ a_{10}. Далее по убыванию: $a_1\to$0,0421; $a_9\to$0,0284; $a_4\to$0,0281; $a_2\to$0,0271; $a_7\to$0,0237; $a_3\to$0,0221; $a_8\to$0,0183; $a_6\to$0,0117; $a_5\to$0,0033.

8. Заключение

В результате применения метода взвешенных оценок ПП удалось определить коэффициент ранговой корреляции ПП $x_k\,(k=1\div 10)$, который указал не только на достаточно высокую степень согласованности экспертных заключений, но и на наличие тесной связи между рассматриваемыми ПП. Кроме того, в рамках данного подхода путём аналитических рассуждений вычислены обобщённые значения весов ПП $x_k\,(k=1\div 10)$, которые стали основанием для обоснования и выработки рекомендаций по формированию итоговых оценок уровней платёжеспособности ФЛ в масштабе отрезка [0; 100] по установленному критерию оценки.

Механизм нечёткого вывода аналогично решает поставленную задачу с той лишь разницей, что опирается не на косвенную, а на прямую причинно-следственную связь между ПП $x_k(k=1\div10)$ и уровнями платёжеспособности заявленных ФЛ, выраженную в виде вербальной модели. В результате применения этого механизма удалось получить итоговые оценки кредитоспособности ФЛ, отличающиеся своими ПП.

В завершение решение поставленной задачи осуществляется с применением нечёткого метода максиминной свёртки, который, в отличие от двух предыдущих методов, не учитывает дифференциацию ПП ФЛ, что, собственно, делает его «механистическим». Тем не менее, с точки зрения контрастности он может быть полезным при сравнении первых двух методов.

Итоговые результаты оценки кредитоспособности заявленных альтернативных ФЛ $a_k(k=1\div10)$ всеми методами представлены в табл. 4. Как видно, результаты, полученные с применением метода взвешенных оценок ПП и метода нечёткого вывода относительно наилучшего и наихудшего ФЛ с точки зрения их текущей платёжеспособности, совпадают, а во всех остальных случаях порядки итоговых оценок не совпадают, но относительно близки. Результаты, полученные нечётким методом максиминной свёртки, полностью контрастируют с остальными результатами, так как этот метод не учитывает приоритетность ПП, которые в первом случае напрямую устанавливаются экспертами на предварительном анализе, а во втором косвенно предусматриваются базовой вербальной моделью.

Таблица 4. Результаты оценок текущей кредитоспособности альтернативных ФЛ

ФЛ	Метод взвешенных оценок ПП		Метод нечёткого вывода		Метод максиминной свёртки	
	Итоговая оценка	Порядок	Итоговая оценка	Порядок	Итоговая оценка	Порядок
a_1	59,33	5	0,5251	2	0,0421	2
a_2	70,60	1	0,5370	1	0,0271	5
a_3	60,11	4	0,5129	3	0,0221	7
a_4	45,38	10	0,3976	10	0,0281	4
a_5	56,09	6	0,4909	5	0,0033	10
a_6	55,66	7	0,4881	6	0,0117	9
a_7	61,24	3	0,4841	7	0,0237	6
a_8	55,62	8	0,4234	9	0,0183	8
a_9	53,12	9	0,4284	8	0,0284	3
a_{10}	67,42	2	0,4965	4	0,0605	1

В процессе своей доработки система нечёткого вывода может быть скорректирована на предмет её структурной и параметрической оптимизации. В контексте решения поставленной задачи данное направление, как нам кажется, имеет очень большой потенциал. Но это уже предмет другого изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рзаев Р.Р. Оценивание кредитоспособности физических лиц с применением нечёткой логики / Р.Р. Рзаев, А.А. Алиев // Проблемы управления и информатики. – 2017. – № 1. – С. 114 – 127.
2. Lin A.S. A Note on the concordance correlation coefficient / A.S. Lin // Biometrics. – 2012. – Vol. 56. – P. 324 – 325.
3. Lin A.S. Statistical Tools for Measuring Agreement / A.S. Lin, W. Wu. – New York: Springer, 2012. – 173 p.
4. Тельнов Г.В. Подход к формированию итоговой оценки уровня освоения материала учебной дисциплины при промежуточной аттестации обучаемых на основе взвешенных коэффициентов оцениваемых признаков / Г.В. Тельнов // Вестник АГУ. – 2015. – Вып. 1 (154). – С. 119 – 127.
5. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Заде Л.А. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

6. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах / Рзаев Р.Р. – Saarbruchen (Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.
7. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Lukasiewicz J.; Ed. by Borkowski L. – Amsterdam: NorthHolland Publishing Company, 1970. – P. 87 – 88.
8. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

Стаття надійшла до редакції 03.05.2018