

УДК 519.712.3

Эльчин Р. Алиев, Эльмар Р. Алиев, А.Э. Али

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССА МИКРОКРЕДИТОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Ключевые слова: микрокредитование, показатель платежеспособности, скоринг-анализ, метод Парето, метод Борда, нечеткое множество, система нечеткого вывода.

Введение

Применяемые коммерческими банками и микрокредитными организациями скоринговые системы оценки используют статистические методы анализа, которые не отражают причинно-следственные связи между объективными и субъективными характеристиками потенциального заемщика и его уровнем платежеспособности на определенную дату. В [1–4] предлагаются различные нечеткие подходы к оценке кредитоспособности физических лиц, основанные на применении системы нечеткого вывода относительно уровня его кредитоспособности. В [5, 6] предложено решение задачи оценки потенциальных заемщиков микрокредитов с применением нечеткого метода взвешенной максиминной свертки качественных критериев оценки кредитоспособности, которое предусматривает фазификацию анкетных данных заявителей, т.е. представление их в виде нечетких множеств. Отталкиваясь от нечетких формализмов, в данной статье в качестве основной задачи рассматривается многокритериальная оценка потенциальных заемщиков микрокредитов посредством применения системы нечеткого вывода.

Постановка задачи

Одним из современных инструментов анализа платежеспособности заемщика на конкретные дату является так называемая «скоринг система», которая на основе данных заявителя за считанные минуты анализирует его кредитную историю: финансовые сделки, просрочки и прочее. В случае микрокредитования за основу берутся данные о клиентах непосредственно из их заявок, а также при необходимости и из других доступных источников (например, из социальных сетей). Одним из способов скоринг-анализа является схема, предложенная в [7], согласно которой каждый потенциальный заемщик микрокредита оценивается по следующей схеме:

- x_1 (возраст) — от 0,1 до 0,3 баллов: чем старше человек, тем он надежнее;
- x_2 (пол) — 0 баллов для мужчин и 0,4 балла для женщин: имеется в виду, что слабый пол считается более ответственным плательщиком и менее склонен к рискам и авантюрам;
- x_3 (оседлость) — $0,042 \div 0,42$ баллов: величина напрямую зависит от времени (числа годов) проживания заемщика по представленному адресу;
- x_4 (рабочие риски) — 0 баллов для работающих на опасных производствах, 0,16 балла — для работающих в условиях умеренного риска для жизни, 0,55 балла — для работающих на безопасных производствах;

© ЭЛЬЧИН Р. АЛИЕВ, ЭЛЬМАР Р. АЛИЕВ, А.Э. АЛИ, 2021

- x_5 (работа в крупных компаниях) — 0,21 балла: добавляется в актив, если заемщик работает в крупной компании, которая надежнее малых фирм;

- x_6 (трудовой стаж) — $0,059 \div 0,59$ баллов: чем дольше человек работает, тем он благонадежнее;

- x_7 (активы) — 0,45 балла: добавляется по каждому пункту отдельно — за наличие страховки, имущества и депозитного счета.

Для одобрения микрокредитования заявителю необходимо получить итоговую оценку не меньше 1,25 балла, при том что максимальным баллом является 3,82.

Предположим, что коммерческий банк (или микрофинансовая организация) рассматривает заявки десяти физических лиц a_j ($j = 1 \div 10$) на предмет предоставления им микрокредитов. После верификации анкетных данных заявителей по всем вышеуказанным критериям x_i ($i = 1 \div 7$), получены предварительные данные о каждом из них, которые в виде начисленных баллов сведены в табл. 1 (см. также [3]).

Таблица 1

Условное обозначение заемщика	Критерии оценки						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1	0,161	0,0	0,044	0,00	0,00	0,061	0,45
a_2	0,222	0,4	0,132	0,55	0,21	0,326	1,35
a_3	0,117	0,4	0,231	0,16	0,00	0,350	0,90
a_4	0,185	0,0	0,374	0,55	0,00	0,248	0,45
a_5	0,298	0,4	0,268	0,16	0,00	0,069	0,45
a_6	0,213	0,0	0,412	0,00	0,21	0,473	1,35
a_7	0,109	0,0	0,172	0,55	0,00	0,424	0,45
a_8	0,205	0,4	0,389	0,16	0,21	0,164	0,90
a_9	0,171	0,4	0,303	0,00	0,00	0,504	1,35
a_{10}	0,255	0,0	0,253	0,16	0,21	0,261	0,90

Задача заключается в том, чтобы, используя метод нечеткого вывода, среди заявителей выявить наилучшего претендента на получение микрокредита. С этой целью, с учетом предварительных данных вышеупомянутого скоринг-анализа необходимо сформулировать и построить причинно-следственные связи между качеством кредитной истории заемщика и его уровнем платежеспособности на конкретную дату в нотации нечетких множеств. Другими словами, необходимо построить такую систему нечеткого вывода, которая в процессе обработки кредитных заявок оперативно обеспечивала бы агрегацию выводов относительно платежеспособности заемщиков.

Многокритериальная оценка платежеспособности заемщиков микрокредитов с применением системы нечеткого вывода

Относительно удовлетворительности платежеспособности потенциального заемщика руководство коммерческого банка придерживается определенных правил, которые сформулированы в виде следующих суждений:

- e_1 : «Если возраст заявителя солидный, и он проживает по указанному адресу долгое время, стаж его работы достаточный, а также он владеет существенными активами, то с точки зрения платежеспособности такой заемщик удовлетворительный»;

- e_2 : «Если дополнительно к сказанному, заявитель работает на предприятии, безопасном с точки зрения риска для жизни, то в этом случае он, как потенциальный заемщик, является более чем удовлетворительным»;

- e_3 : «Если дополнительно к приведенным в e_1 и e_2 требованиям заявитель — женщина, работающая в достаточно крупной компании, то такой заемщик безупречный (полностью соответствующий всем требованиям по кредитованию)»;

• e_4 : «Если имеет место все, оговоренное в e_3 , за исключением наличия у заявителя активов, то он, как потенциальный заемщик, очень удовлетворительный»;

• e_5 : «Если возраст заявителя неподходящий, и он проживает по указанному адресу непродолжительное время, однако работает в крупной компании и без особого риска для жизни, имеет солидный стаж работы, но не имеет определенных активов, то, как потенциальный заемщик, он все же является удовлетворительным»;

• e_6 : «Если заявитель проживает по указанному адресу непродолжительное время, не имеет солидного постоянного стажа работы и не обладает какими-либо активами, то он, как потенциальный заемщик, является неудовлетворительным».

Анализ этих высказываний позволяет выявить полный набор входных и выходных характеристик будущей модели в виде соответствующих термов лингвистических переменных x_i ($i = 1 \div 7$) и лингвистической переменной $y =$ «Удовлетворительность кредитоспособности заемщика», которые сведены в табл. 2.

Таблица 2

Входы	x_1	Название переменной	Возраст
		Термы	$\{F_1 = \text{ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ}, \neg F_1 = \text{НЕ ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ}\}$
		Универсум	$[0,1; 0,3]$
	x_2	Название переменной	Пол
		Термы	$F_2 = \text{ЖЕЛАТЕЛЬНЫЙ}$
		Универсум	$\{0; 0,4\}$
	x_3	Название переменной	Проживание по адресу — «оседлость»
		Термы	$\{F_3 = \text{ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ}, \neg F_3 = \text{НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ}\}$
		Универсум	$[0,042; 0,42]$
	x_4	Название переменной	Рабочий риск
		Термы	$F_4 = \text{ПРИЕМЛЕМЫЙ}$
		Универсум	$[0; 0,55]$
	x_5	Название переменной	Текущая работа
		Термы	$F_5 = \text{ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ}$
		Универсум	$\{0; 0,21\}$
x_6	Название переменной	Трудовой стаж	
	Термы	$\{F_6 = \text{БОЛЬШОЙ}, \neg F_6 = \text{НЕБОЛЬШОЙ}\}$	
	Универсум	$[0,059; 0,59]$	
x_7	Название переменной	Наличие активов	
	Термы	$\{F_7 = \text{СУЩЕСТВЕННЫЕ}, \neg F_7 = \text{НЕСУЩЕСТВЕННЫЕ}\}$	
	Универсум	$[0; 1,35]$	
Выход	y	Название переменной	Удовлетворительность заемщика
		Термы	$\{US = \text{НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ}, S = \text{УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ}, MS = \text{БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ}, VS = \text{ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ}, P = \text{БЕЗУПРЕЧНЫЙ}\}$
		Универсум	$\{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$

Оценочные понятия x_i ($i = 1 \div 7$) скоринг-анализа, по которым выставляются баллы потенциальным заемщикам, будем считать качественными категориями (критериями), а численные оценки платежеспособности альтернативных заемщиков микрокредитов — степенями соответствия этим критериям. Исходя из этого допущения, обозначим множество альтернатив (заемщиков) как $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$, а множество критериев — как $F = \{F_1, F_1, \dots, F_m\}$, каждый из которых представляет собой нечеткое подмножество универсума A вида

$$F_i = \mu_{F_i}(a_1)/a_1 + \mu_{F_i}(a_2)/a_2 + \dots + \mu_{F_i}(a_{10})/a_{10} \quad (i = 1 \div 7).$$

В качестве функций принадлежности, восстанавливающих такого вида нечеткие множества, выбраны Гауссовы функции вида [8, 9]:

$$\mu_i(u) = \exp\{-(u - u_i)^2 / \sigma_i^2\}, u \in [0, u_i], i = 1 \div 7,$$

где u_i — максимальный балл, предусмотренный в i -м пункте скоринга;
 $\sigma_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (u - u_i)^2$ — среднеквадратичное отклонение. В частности, для фазификации качественного критерия оценки $F_1 =$ ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ (возраст) выбрана Гауссова функция принадлежности с плотностью $\sigma_1^2 = 0,0138$ ($n = 40$), которая представлена на рисунке.



Таким образом, оценочные понятия, как критерии оценки платежеспособности заемщиков, опишем в виде следующих соответствующих нечетких множеств:

- ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ (возраст): $F_1 = \{0,2475/a_1, 0,6442/a_2, 0,0889/a_3, 0,3845/a_4, 0,9997/a_5, 0,5787/a_6, 0,0716/a_7, 0,5209/a_8, 0,3004/a_9, 0,8639/a_{10}\}$;
- ЖЕЛАТЕЛЬНЫЙ (пол): $F_2 = \{0,0081/a_1, 1/a_2, 1/a_3, 0,0081/a_4, 1/a_5, 0,0081/a_6, 0,0081/a_7, 1/a_8, 1/a_9, 0,0081/a_{10}\}$;
- ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ (проживание по адресу — «оседлость»): $F_3 = \{0,0564/a_1, 0,1851/a_2, 0,4837/a_3, 0,9579/a_4, 0,6251/a_5, 0,9987/a_6, 0,2863/a_7, 0,9806/a_8, 0,7570/a_9, 0,5672/a_{10}\}$;
- ПРИЕМЛЕМЫЙ (рабочий риск): $F_4 = \{0,0528/a_1, 1/a_2, 0,2279/a_3, 1/a_4, 0,2279/a_5, 0,0528/a_6, 1/a_7, 0,2279/a_8, 0,0528/a_9, 0,2279/a_{10}\}$;
- ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ (работа): $F_5 = \{0,0555/a_1, 1/a_2, 0,0555/a_3, 0,0555/a_4, 0,0555/a_5, 1/a_6, 0,0555/a_7, 1/a_8, 0,0555/a_9, 1/a_{10}\}$;
- БОЛЬШОЙ (трудовой стаж): $F_6 = \{0,0565/a_1, 0,4888/a_2, 0,5534/a_3, 0,3008/a_4, 0,0616/a_5, 0,8688/a_6, 0,7535/a_7, 0,1551/a_8, 0,9269/a_9, 0,3290/a_{10}\}$;
- СУЩЕСТВЕННЫЕ (активы): $F_7 = \{0,2742/a_1, 1/a_2, 0,7236/a_3, 0,2742/a_4, 0,2742/a_5, 1/a_6, 0,2742/a_7, 0,7236/a_8, 1/a_9, 0,7236/a_{10}\}$.

Для описания выходных характеристик модели поступим следующим образом. В качестве универсума выберем дискретное множество $U = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$. Тогда согласно [9, 10] $\forall u \in U$ термы лингвистической переменной u из правых частей высказываний $e_1 \div e_6$ можно описать в виде следующих нечетких множеств с соответствующими функциями принадлежности: $S =$ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ: $\mu_S(u) = u$;

MS = БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{MS}(u) = u^{(1/2)}$; VS = ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ: $\mu_{VS}(u) = u^2$; P = БЕЗУПРЕЧНЫЙ: $\mu_P(u) = 1$, если $u = 1$ и $\mu_P(u) = 0$, если $u < 1$; US = НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ: $\mu_{US}(u) = 1 - u$.

Таким образом, с учетом обозначенных в табл. 2 термов высказывания $e_1 \div e_6$ могут быть представлены в виде следующих импликативных правил:

- e_1 : «Если x_1 = ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ и x_3 = ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ и x_6 = БОЛЬШОЙ и x_7 = СУЩЕСТВЕННЫЕ, то y = УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

- e_2 : «Если x_1 = ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ и x_3 = ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ и x_4 = ПРИЕМЛЕМЫЙ и x_6 = БОЛЬШОЙ и x_7 = СУЩЕСТВЕННЫЕ, то y = БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

- e_3 : «Если x_1 = ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ и x_2 = ЖЕЛАТЕЛЬНЫЙ и x_3 = ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ и x_4 = ПРИЕМЛЕМЫЙ и x_5 = ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ и x_6 = БОЛЬШОЙ и x_7 = СУЩЕСТВЕННЫЕ, то y = БЕЗУПРЕЧНЫЙ»;

- e_4 : «Если x_1 = ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ и x_2 = ЖЕЛАТЕЛЬНЫЙ и x_3 = ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ и x_4 = ПРИЕМЛЕМЫЙ и x_5 = ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ и x_6 = БОЛЬШОЙ, то y = ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

- e_5 : «Если x_1 = НЕ ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЙ и x_3 = НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ и x_4 = ПРИЕМЛЕМЫЙ и x_5 = ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ и x_6 = БОЛЬШОЙ и x_7 = НЕСУЩЕСТВЕННЫЕ, то y = УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

- e_6 : «Если x_3 = НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ и x_6 = НЕБОЛЬШОЙ и x_7 = НЕСУЩЕСТВЕННЫЕ, то y = НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»,

или в символической форме, как:

- e_1 : $(x_1 = F_1) \& (x_3 = F_3) \& (x_6 = F_6) \& (x_7 = F_7) \Rightarrow (y = S)$;

- e_2 : $(x_1 = F_1) \& (x_3 = F_3) \& (x_4 = F_4) \& (x_6 = F_6) \& (x_7 = F_7) \Rightarrow (y = MS)$;

- e_3 : $(x_1 = F_1) \& (x_2 = F_2) \& (x_3 = F_3) \& (x_4 = F_4) \& (x_5 = F_5) \& (x_6 = F_6) \& (x_7 = F_7) \Rightarrow (y = P)$;

- e_4 : $(x_1 = F_1) \& (x_2 = F_2) \& (x_3 = F_3) \& (x_4 = F_4) \& (x_5 = F_5) \& (x_6 = F_6) \Rightarrow (y = VS)$;

- e_5 : $(x_1 = \neg F_1) \& (x_3 = \neg F_3) \& (x_4 = F_4) \& (x_5 = F_5) \& (x_6 = F_6) \& (x_7 = \neg F_7) \Rightarrow (y = S)$;

- e_6 : $(x_3 = \neg F_3) \& (x_6 = \neg F_6) \& (x_7 = \neg F_7) \Rightarrow (y = US)$.

Руководствуясь правилом пересечения нечетких множеств, для левых частей правил $e_1 \div e_6$ соответственно имеем:

- $\mu_{M1}(a) = \min\{\mu_{F1}(a), \mu_{F3}(a), \mu_{F6}(a), \mu_{F7}(a)\}$, $M_1 = \{0,0564/a_1; 0,1851/a_2; 0,0889/a_3; 0,2742/a_4; 0,0616/a_5; 0,5787/a_6; 0,0716/a_7; 0,1551/a_8; 0,3004/a_9; 0,3290/a_{10}\}$;

- $\mu_{M2}(a) = \min\{\mu_{F1}(a), \mu_{F3}(a), \mu_{F4}(a), \mu_{F6}(a), \mu_{F7}(a)\}$, $M_2 = \{0,0528/a_1; 0,1851/a_2; 0,0889/a_3; 0,2742/a_4; 0,0616/a_5; 0,0528/a_6; 0,0716/a_7; 0,1551/a_8; 0,0528/a_9; 0,2279/a_{10}\}$;

- $\mu_{M3}(a) = \min\{\mu_{A1}(a), \mu_{A2}(a), \mu_{A3}(a), \mu_{A4}(a), \mu_{A5}(a), \mu_{F6}(a), \mu_{F7}(a)\}$, $M_3 = \{0,0081/a_1; 0,1851/a_2; 0,0555/a_3; 0,0081/a_4; 0,0555/a_5; 0,0081/a_6; 0,0081/a_7; 0,1551/a_8; 0,0528/a_9; 0,0081/a_{10}\}$;

- $\mu_{M4}(a) = \min\{\mu_{A1}(a), \mu_{A2}(a), \mu_{A3}(a), \mu_{A4}(a), \mu_{A5}(a), \mu_{F6}(a)\}$, $M_4 = \{0,0081/a_1; 0,1851/a_2; 0,0555/a_3; 0,0081/a_4; 0,0555/a_5; 0,0081/a_6; 0,0081/a_7; 0,1551/a_8; 0,0528/a_9; 0,0081/a_{10}\}$;

$\mu_{M5}(a) = \min\{1-\mu_{A1}(a), 1-\mu_{A3}(a), \mu_{A4}(a), \mu_{A5}(a), \mu_{F6}(a), 1-\mu_7(a)\}$, $M_5 = \{0,0528/a_1; 0,0000/a_2; 0,0555/a_3; 0,0421/a_4; 0,0003/a_5; 0,0000/a_6; 0,0555/a_7; 0,0194/a_8; 0,0000/a_9; 0,1361/a_{10}\}$;

• $\mu_{M6}(a) = \min\{1-\mu_{A3}(a), 1-\mu_{A6}(a), 1-\mu_{A7}(a)\}$, $M_6 = \{0,7258/a_1; 0,0000/a_2; 0,2764/a_3; 0,0421/a_4; 0,3749/a_5; 0,0000/a_6; 0,2465/a_7; 0,0194/a_8; 0,0000/a_9; 0,2764/a_{10}\}$.

В результате правила $e_1 \div e_6$ будут выглядеть в более компактном виде:

- $e_1: (x = M_1) \Rightarrow y = S$; $e_2: (x = M_2) \Rightarrow y = MS$; $e_3: (x = M_3) \Rightarrow y = P$;
- $e_4: (x = M_4) \Rightarrow y = VS$; $e_5: (x = M_5) \Rightarrow y = S$; $e_6: (x = M_6) \Rightarrow y = US$.

Преобразования этих правил с применением импликации Лукасевича: $\mu(a, u) = \min\{1, 1 - \mu(a) + \mu(u)\}$ [8], формируют нечеткие отношения в виде соответствующих матриц:

$$R_1 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ 0,0564 & 0,9436 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,1851 & 0,8149 & 0,9149 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0889 & 0,9111 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,2742 & 0,7258 & 0,8258 & 0,9258 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0616 & 0,9384 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,5787 & 0,4213 & 0,5213 & 0,6213 & 0,7213 & 0,8213 & 0,9213 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0716 & 0,9284 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,1551 & 0,8449 & 0,9449 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,3004 & 0,6996 & 0,7996 & 0,8996 & 0,9996 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,3290 & 0,6710 & 0,7710 & 0,8710 & 0,9710 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,3162 & 0,4472 & 0,5477 & 0,6325 & 0,7071 & 0,7746 & 0,8367 & 0,8944 & 0,9487 & 1 \\ 0,0528 & 0,9472 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,1851 & 0,8149 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0889 & 0,9111 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,2742 & 0,7258 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0616 & 0,9384 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0528 & 0,9472 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0716 & 0,9284 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,1551 & 0,8449 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0528 & 0,9472 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,2279 & 0,7721 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,0081 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 1,0000 \\ 0,1851 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 1,0000 \\ 0,0555 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 1,0000 \\ 0,1851 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 1,0000 \\ 0,0555 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 1,0000 \\ 0,0081 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 1,0000 \\ 0,0081 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 1,0000 \\ 0,1551 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 1,0000 \\ 0,0528 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 1,0000 \\ 0,0081 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,01 & 0,04 & 0,09 & 0,16 & 0,25 & 0,36 & 0,49 & 0,64 & 0,81 & 1 \\ 0,0081 & 0,9919 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,1851 & 0,8149 & 0,8249 & 0,8549 & 0,9049 & 0,9749 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0555 & 0,9445 & 0,9545 & 0,9845 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0081 & 0,9919 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0555 & 0,9445 & 0,9545 & 0,9845 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0081 & 0,9919 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0081 & 0,9919 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,1551 & 0,8449 & 0,8549 & 0,8849 & 0,9349 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0528 & 0,9472 & 0,9572 & 0,9872 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0081 & 0,9919 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 \\ 0,0528 & 0,9472 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0555 & 0,9445 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0421 & 0,9579 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0003 & 0,9997 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0555 & 0,9445 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0194 & 0,9806 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,1361 & 0,8639 & 0,9639 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} & 1,0 & 0,9 & 0,8 & 0,7 & 0,6 & 0,5 & 0,4 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0 \\ 0,7258 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9742 & 0,8742 & 0,7742 & 0,6742 & 0,5742 & 0,4742 & 0,3742 & 0,2742 \\ 0,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,2764 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9236 & 0,8236 & 0,7236 \\ 0,0421 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9579 \\ 0,3749 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9251 & 0,8251 & 0,7251 & 0,6251 \\ 0,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,2465 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9535 & 0,8535 & 0,7535 \\ 0,0194 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9806 \\ 0,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,2764 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9236 & 0,8236 & 0,7236 \end{bmatrix}.$$

Путем пересечения нечетких отношений R_k ($k = 1 \div 6$) с применением операции «min» получаем искомое общее функциональное решение в виде следующей матрицы R :

$$R = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ a_1 & 0,9436 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9742 & 0,8742 & 0,7742 & 0,6742 & 0,5742 & 0,4742 & 0,3742 & 0,2742 \\ a_2 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 0,8149 & 1,0000 \\ a_3 & 0,9111 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9236 & 0,8236 & 0,7236 \\ a_4 & 0,7258 & 0,8258 & 0,9258 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9579 \\ a_5 & 0,9384 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9445 & 0,9251 & 0,8251 & 0,7251 & 0,6251 \\ a_6 & 0,4213 & 0,5213 & 0,6213 & 0,7213 & 0,8213 & 0,9213 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 1,0000 \\ a_7 & 0,9284 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9535 & 0,8535 & 0,7535 \\ a_8 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,8449 & 0,9806 \\ a_9 & 0,6996 & 0,7996 & 0,8996 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 0,9472 & 1,0000 \\ a_{10} & 0,6710 & 0,7710 & 0,8710 & 0,9710 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9919 & 0,9236 & 0,8236 & 0,7236 \end{bmatrix}.$$

Согласно [9, 10], нечеткий вывод относительно платежеспособности j -го потенциального заемщика микрокредита в зависимости от данных по оценочным показателям x_i ($i = 1 \div 7$), представленным в табл. 1, отражается в виде нечеткого подмножества E_k универсума $U = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$ с соответствующими значениями функции принадлежности из j -й строки матрицы R .

Для численных оценок платежеспособности потенциальных заемщиков применим процедуру дефазификации. Например, для нечеткого вывода относительно оценки платежной дисциплины первого заявителя: $E_8 = \{0,9436/0; 0,9919/0,1; 0,9919/0,2; 0,9742/0,3; 0,8742/0,4; 0,7742/0,5; 0,6742/0,6; 0,5742/0,7; 0,4742/0,8; 0,3742/0,9; 0,2742/1\}$, устанавливая уровневые множества $E_{1\alpha}$ и вычисляя по формуле $M(E_\alpha) = \sum_{j=1}^n r_j / n$, $r \in E_\alpha$ их мощности $M(E_{1\alpha})$, имеем:

- для $0 < \alpha < 0,2742$: $\Delta\alpha = 0,2742$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 0,8; 0,9; 1\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,50$;
- для $0,2742 < \alpha < 0,3742$: $\Delta\alpha = 0,1$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 0,8; 0,9\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,45$;
- для $0,3742 < \alpha < 0,4742$: $\Delta\alpha = 0,1$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 0,7; 0,8\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,40$;
- для $0,4742 < \alpha < 0,5742$: $\Delta\alpha = 0,1$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 0,6; 0,7\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,35$;
- для $0,5742 < \alpha < 0,6742$: $\Delta\alpha = 0,1$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 0,5; 0,6\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,30$;

- для $0,6742 < \alpha < 0,7742$: $\Delta\alpha = 0,1$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,25$;
- для $0,7742 < \alpha < 0,8742$: $\Delta\alpha = 0,1$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,20$;
- для $0,8742 < \alpha < 0,9436$: $\Delta\alpha = 0,0694$; $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,15$;
- для $0,9436 < \alpha < 0,9742$: $\Delta\alpha = 0,0306$; $E_{1\alpha} = \{0,1; 0,2; 0,3\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,20$;
- для $0,9742 < \alpha < 0,9919$: $\Delta\alpha = 0,0177$; $E_{1\alpha} = \{0,1; 0,2\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0,15$.

Тогда согласно [8, 10] численную оценку относительно удовлетворительности платежной дисциплины первого заемщика получим в виде

$$F(E_1) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{1\alpha}) d\alpha = \frac{1}{0,9919} \int_0^{0,9919} M(E_{1\alpha}) d\alpha = \frac{1}{0,9919} \times \\ \times [0,2742 \cdot 0,50 + 0,1 \cdot 0,45 + 0,1 \cdot 0,40 + 0,1 \cdot 0,35 + 0,1 \cdot 0,30 + 0,1 \cdot 0,25 + \\ + 0,1 \cdot 0,20 + 0,0694 \cdot 0,15 + 0,0306 \cdot 0,20 + 0,0177 \cdot 0,15] = 0,3542.$$

Аналогичными действиями устанавливаем численные оценки платежеспособности и для остальных потенциальных заемщиков: $F(E_2) = 0,5926$; $F(E_3) = 0,4826$; $F(E_4) = 0,5234$; $F(E_5) = 0,4645$; $F(E_6) = 0,5967$; $F(E_7) = 0,4823$; $F(E_8) = 0,5692$; $F(E_9) = 0,5485$; $F(E_{10}) = 0,5090$.

Многокритериальная оценка платежеспособности заемщиков микрокредитов методами Парето и Борда

Методом Парето предусматривается отбор наиболее платежеспособных заемщиков из числа заявителей на получение микрокредита и по общему объему их кредитования формируется кредитный портфель с учетом возможностей коммерческого банка [11]. На первом этапе в рамках системы критериев x_i ($i = 1 \div 7$) производится ранжирование заемщиков. Для рассматриваемых заявителей из табл. 1 такое ранжирование сведено в табл. 3.

Таблица 3

ПОРЯДОК	ПОКАЗАТЕЛИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЗАЕМЩИКОВ						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	a_5	a_5	a_6	a_4	a_2	a_9	a_9
2	a_{10}	a_2	a_8	a_7	a_8	a_6	a_6
3	a_2	a_8	a_4	a_2	a_{10}	a_7	a_2
4	a_6	a_9	a_9	a_8	a_6	a_3	a_3
5	a_8	a_3	a_5	a_5	a_4	a_2	a_{10}
6	a_4	a_{10}	a_{10}	a_{10}	a_7	a_{10}	a_8
7	a_9	a_6	a_3	a_3	a_5	a_4	a_7
8	a_1	a_4	a_7	a_6	a_3	a_8	a_4
9	a_3	a_1	a_2	a_9	a_9	a_5	a_5
10	a_7	a_7	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1

На следующем шаге метода Парето проводится сравнительный анализ заемщиков по показателям x_i ($i = 1 \div 7$) путем установления попарных предпочтений. В табл. 4 эти предпочтения установлены по следующему принципу: например, для заемщика a_1 в клетку пересечения строки x_1 (возраст) и столбца a_2 выставлен знак «-», так как значение показателя x_1 по заемщику a_1 меньше, чем по заемщику a_2 , а на пересечении со столбцом a_3 выставлен знак «+», поскольку значение показателя x_1 по заемщику a_1 больше, чем по заемщику a_3 . В том случае, если значения показателей по альтернативным заемщикам равны, то выставляется знак «0».

Таблица 4

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
x1	-	+	-	-	-	+	-	-	-
x2	-	-	0	-	0	0	-	-	0
x3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x4	-	-	-	-	0	-	-	0	-
x5	-	0	0	0	-	0	-	0	-
x6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x7	-	-	0	0	-	0	-	-	-
a2	a1	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
x1	+	+	+	-	+	+	+	+	-
x2	+	0	+	0	+	+	0	0	+
x3	+	-	-	-	-	-	-	-	-
x4	+	+	0	+	+	0	+	+	+
x5	+	+	+	+	0	+	0	+	0
x6	+	-	+	+	-	-	+	-	+
x7	+	+	+	+	0	+	+	0	+
a3	a1	a2	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
x1	-	-	-	-	-	+	-	-	-
x2	+	0	+	0	+	+	0	0	+
x3	+	+	-	-	-	+	-	-	-
x4	+	-	-	0	+	-	0	+	0
x5	0	-	0	0	-	0	-	0	-
x6	+	+	+	+	-	-	+	-	+
x7	+	-	+	+	-	+	0	-	0
a4	a1	a2	a3	a5	a6	a7	a8	a9	a10
x1	+	-	+	-	-	+	-	+	-
x2	0	-	-	-	0	0	-	-	0
x3	+	+	+	+	-	+	-	+	+
x4	+	0	+	+	+	0	+	+	+
x5	0	-	0	0	-	0	-	0	-
x6	+	-	-	+	-	-	+	-	-
x7	0	-	-	0	-	0	-	-	-
a5	a1	a2	a3	a4	a6	a7	a8	a9	a10
x1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
x2	+	0	0	+	+	+	0	0	+
x3	+	+	+	-	-	+	-	-	+
x4	+	-	0	-	+	-	0	+	0
x5	0	-	0	0	-	0	-	0	-
x6	+	-	-	-	-	-	-	-	-
x7	0	-	-	0	-	0	-	-	-
a6	a1	a2	a3	a4	a5	a7	a8	a9	a10
x1	+	-	+	+	-	+	+	+	-
x2	0	-	-	0	-	0	-	-	0
x3	+	+	+	+	+	+	+	+	+
x4	0	-	-	-	-	-	-	0	-
x5	+	0	+	+	+	+	0	+	0
x6	+	+	+	+	+	+	+	-	+
x7	+	0	+	+	+	+	+	0	+

A7	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A8	A9	A10
x1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
x2	0	–	–	0	–	0	–	–	0
x3	+	+	–	–	–	–	–	–	–
x4	+	0	+	0	+	+	+	+	+
x5	0	–	0	0	0	–	–	0	–
x6	+	+	+	+	+	–	+	–	+
x7	0	–	–	0	0	–	–	–	–
a8	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a9	a10
x1	+	–	+	+	–	–	+	+	–
x2	+	0	0	+	0	+	+	0	+
x3	+	+	+	+	+	–	+	+	+
x4	+	–	0	–	0	+	–	+	0
x5	+	0	+	+	+	0	+	+	0
x6	+	–	–	–	+	–	–	–	–
x7	+	–	0	+	+	–	+	–	0
a9	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a10
x1	+	–	+	–	–	–	+	–	–
x2	+	0	0	+	0	+	+	0	+
x3	+	+	+	–	+	–	+	–	+
x4	0	–	–	–	–	0	–	–	–
x5	0	–	0	0	0	–	0	–	–
x6	+	+	+	+	+	+	+	+	+
x7	+	0	+	+	+	0	+	+	+
a10	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9
x1	+	+	+	+	–	+	+	+	+
x2	0	–	–	0	–	0	0	–	–
x3	+	+	+	–	–	–	+	–	–
x4	+	–	0	–	0	+	–	0	+
x5	+	0	+	+	+	0	+	0	+
x6	+	–	–	+	+	–	–	+	–
x7	+	–	0	+	+	–	+	0	–

Согласно правилу Парето предпочтительны заемщики со столбцами, не содержащими символа «–». Например, для заемщиков a_2 и a_8 столбец a_1 содержит только знаки «+», это означает, что заемщики a_2 и a_8 предпочтительнее заемщика a_1 . В сегменте a_{10} столбец a_1 содержит знаки «+» и один знак «0», это означает «чуть меньшую» предпочтительность заемщика a_{10} по сравнению с заемщиком a_1 . В сегментах a_4 , a_5 , a_6 и a_9 содержится столбец a_1 , который включает знаки «+» и два знака «0», что можно толковать, как «еще меньшую» предпочтительность заемщиков a_4 , a_5 , a_6 и a_9 по сравнению с заемщиком a_{10} . Как видно, пока только по отношению к заемщику a_1 выстраиваются остальные заявители, имеющие по сравнению с ним явное преимущество. Кроме того, в списке рассматриваемых альтернатив заемщики a_2 и a_8 «выглядят» наиболее предпочтительными. Таким образом, исключая альтернативу a_1 , методом Парето производятся попарные сравнения остальных заемщиков, что легко реализуется на компьютере в силу тривиальности алгоритма.

Метод Парето выдает большее число кредитных решений, чем необходимо. Поэтому для завершения сравнительного анализа платежеспособности потенциальных заемщиков применим правило Борда, согласно которому альтернативы ранжируются по каждому показателю по десятибалльной системе в порядке убывания с присвоением им соответствующих значений ранга (табл. 5) и по каждому решению рассчитывается суммарный ранг (табл. 6). В итоге заемщик с наибольшим значением суммарного ранга считается наилучшим.

Таблица 5

РАНГ	КРИТЕРИИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЗАЕМЩИКОВ						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
10	a_5	a_5	a_6	a_4	a_2	a_9	a_9
9	a_{10}	a_2	a_8	a_7	a_8	a_6	a_6
8	a_2	a_8	a_4	a_2	a_{10}	a_7	a_2
7	a_6	a_9	a_9	a_8	a_6	a_3	a_3
6	a_8	a_3	a_5	a_5	a_4	a_2	a_{10}
5	a_4	a_{10}	a_{10}	a_{10}	a_7	a_{10}	a_8
4	a_9	a_6	a_3	a_3	a_5	a_4	a_7
3	a_1	a_4	a_7	a_6	a_3	a_8	a_4
2	a_3	a_1	a_2	a_9	a_9	a_5	a_5
1	a_7	a_7	a_1	a_1	a_1	a_1	a_1

Таблица 6

ЗАЕМЩИК	КРИТЕРИИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЗАЕМЩИКА							СУММА БАЛЛОВ	ПОРЯДОК
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
a_1	3	2	1	1	1	1	1	10	10
a_2	8	9	2	8	10	6	8	51	1
a_3	2	6	4	4	3	7	7	33	8
a_4	5	3	8	10	6	4	3	39	7
a_5	10	10	6	6	4	2	2	40	6
a_6	7	4	10	3	7	9	9	49	2
a_7	1	1	3	9	5	8	4	31	9
a_8	6	8	9	7	9	3	5	47	3
a_9	4	7	7	2	2	10	10	42	5
a_{10}	9	5	5	5	8	5	6	43	4

Как видно из табл. 6, наибольшие оценки платежеспособности имеют заемщики a_2 , a_6 и a_8 , что и предопределяет наилучшее кредитное решение.

Заключение

Решение основной задачи осуществлено с применением системы нечеткого вывода. Данный подход также может быть полезным для выработки сбалансированного решения относительно предоставления микрокредита. Итоговые результаты оценки текущей платежеспособности альтернативных заемщиков a_j ($j = 1 \div 10$) в сравнении с результатами, полученными скоринг-анализом и применением методов Парето и Борда, представлены в табл. 7. Ранжирования альтернативных заемщиков, полученные с применением арифметического усреднения и скоринг-анализа, полностью совпадают и несущественно отличаются от порядковых оценок, полученных методами Парето и Борда. Некоторая разница наблюдается при сравнении статистических результатов с ранжированием заемщиков, полученным с применением системы нечеткого вывода, особенно в части, касающейся оценки

наилучшого заемщика. Собственно, это не удивительно, так как порядковые оценки, полученные методами скоринг-анализа, Парето и Борда не учитывают удельные веса критериев оценки платежеспособности заемщиков, в то время как в структуре логических правил (вербальной модели) в неявной форме учитывается приоритетность одних показателей платежеспособности по сравнению с другими.

Таблица 7

Заемщик	Арифметическое усреднение		Скоринг-анализ		Метод Парето	Метод Борда		Система нечеткого вывода	
	Оценка	Порядок	Оценка	Порядок	Порядок	Оценка	Порядок	Оценка	Порядок
a_1	0,1023	10	0,72	10	10	10	10	0,3542	10
a_2	0,4557	1	3,19	1	1	51	1	0,5926	2
a_3	0,3083	5	2,16	5	7	33	8	0,4826	7
a_4	0,2581	7	1,81	7	6	39	7	0,5234	5
a_5	0,2350	9	1,65	9	9	40	6	0,4645	9
a_6	0,3797	3	2,66	3	3	49	2	0,5967	1
a_7	0,2436	8	1,71	8	8	31	9	0,4823	8
a_8	0,3469	4	2,43	4	2	47	3	0,5692	3
a_9	0,3897	2	2,73	2	4	42	5	0,5485	4
a_{10}	0,2913	6	2,04	6	5	43	4	0,5090	6

Очевидно, что для принятия сбалансированных решений в области микрокредитования целесообразно применять разные подходы, в том числе и со взвешенными оценками, полученными на основе идентификации удельных весов показателей платежеспособности. Но это уже предмет другого исследования.

Ельчин Р. Алиев, Ельмар Р. Алиев, А.Е. Али

АНАЛІТИЧНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСУ МІКРОКРЕДИТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ

Всебічний аналіз платоспроможності заявника на отримання мікrokредиту передує укладенню з ним кредитного договору. Це дозволяє визначити фактори ризику, пов'язані з можливістю непогашення банківської позики в обумовлений термін, і, навпаки, оцінити ймовірність своєчасного повернення позики. Тому оцінка кредитоспроможності клієнта — невід'ємна частина роботи комерційних банків і мікрофінансових організацій щодо визначення можливості видачі мікропозики тому чи іншому заявнику. Запропоновано збалансований підхід до багатокритеріальної оцінки платоспроможності фізичних осіб, заснований також на нечіткому аналізі показників їх платоспроможності. Розроблена система нечіткого висновку в комбінації зі статистичними методами оцінки платоспроможності може служити аналітичним ядром для системи підтримки прийняття кредитних рішень. На прикладі десяти гіпотетичних альтернативних позичальників, які характеризуються своїми поточними показниками, проведено відповідні оцінки їх платоспроможності, зокрема методами скорингу, Парето, Борда із застосуванням системи нечіткого висновку. Подібний комбінований підхід відрізняється можливістю вірогідно виділити групу осіб з високою кредитною дисципліною і характеристики тих, відносно яких кредитні рішення відносяться до зони підвищеного ризику.

Ключові слова: мікrokредитування, показник платоспроможності, скоринг-аналіз, метод Парето, метод Борда, нечітка множина, система нечіткого висновку.

ANALYTICAL SUPPORT OF THE MICROCREDITING PROCESS USING A FUZZY INFERENCE SYSTEM

A comprehensive analysis of the applicant's solvency for obtaining a microcredit precedes the conclusion of a loan agreement with him. This allows to determine the risk factors associated with the possibility of non-repayment of a bank loan in due time, and, on the contrary, to assess the likelihood of timely repayment of the loan. Therefore, the assessment of the client's creditworthiness is an integral part of the work of commercial banks and microfinance organizations to determine the possibility of issuing microloans to one or another applicant. The paper proposes a balanced approach to the multi-criteria assessment of the solvency of individuals, based, among other things, on a fuzzy analysis of their solvency indicators. The developed fuzzy inference system in combination with statistical methods for assessing solvency, can serve as an analytical core for a credit decision support system. Based on the example of ten hypothetical alternative borrowers, characterized by their current indicators, the corresponding assessments of their solvency were made, including scoring, Pareto method, Bord method and using a fuzzy inference system. Such a combined approach is distinguished by the ability to identify reliably a group of individuals with high credit discipline and the characteristics of those in relation to whom credit decisions are classified as high-risk.

Keywords: microcredit, solvency indicator, scoring analysis, Pareto method, Bord method, fuzzy set, fuzzy inference system.

1. Рзаев Р.Р., Алиев А.А. Оценивание кредитоспособности физических лиц с применением нечеткой логики. *Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики»*. 2017. № 1. С. 114–127.
2. Рзаев Р.Р., Алиев А.А. Оценка кредитоспособности физического лица на основе нечеткого анализа его платежеспособности. *Системы и средства информатики*. 2017. № 27(3). С. 202–218. DOI: 10.14357/08696527170316.
3. Алиев А.А. Оценка текущей кредитоспособности физических лиц на основе экспертных оценок их показателей платежеспособности. *Математические машины и системы*. 2018. № 2. С. 119–132.
4. Алиев А.А. Многофакторная оценка кредитоспособности физических лиц посредством интеграции экспертных знаний. *Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики»*. 2020. № 2. С. 71–82.
5. Газиев З.З. Оценка заемщиков микрокредитов нечетким методом максиминной свертки. *Математические машины и системы*. 2020. № 2. С. 89–98.
6. Aliyev E.R., Gaziyeve Z.Z. Weighted assessment of the microcredit borrower solvency using a fuzzy analysis of personal data. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. **1306**. P. 531–539.
7. Молчанов К. Увеличиваем вероятность выдачи кредита — инструкция от Лига. Кредитонлайн. URL: <https://www.liga.net/creditonline/ uvelichivaem-veroyatnost-vydachi-kredita-instrukciya-ot-liga-kreditonlajn> (дата обращения 22.04.2021).
8. Рзаев Р.Р. Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений. Verlag : Lambert Academic Publishing, 2013. 127 с.
9. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах. Saarbruchen : Palmerium Academic Publishing, 2016. 306 с.
10. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М. : *Финансы и статистика*, 2000. 368 с.
11. Применение методов Парето и Борда при выборе инвестиционных проектов. URL: https://afdanalyse.ru/publ/investicionnyj_analiz/teorija/primenenie_metodov_pareto_i_borda_pri_vybore_investicionnykh_proektov/27-1-0-330 (дата обращения 22.04.2021).

Получено 23.04.2021