

Применение комбинированного метода экспертов и возможностной дискриминации для минимизации рисков кредитования инвестиционных проектов

Гия Сирбиладзе¹, Ирина Хуцишвили²

Тбилисский Государственный Университет им. Ив. Джавахишвили

Факультет точных и естественных наук, Направление компьютерных наук

1. Профессор, руководитель направления Информационных систем, эл.почта: gia.sirbiladze@tsu.ge

2. Ассистент-профессор, эл. почта: i.khutsishvili@yahoo.com

Аннотация

В работе представлен метод минимизации рисков при отборе инвестиционных проектов – новая технология, комбинирующая нечеткую дискриминацию и метод экспертов. Она подразумевает применение экспертной комиссией метода конденсирования оценок для кандидатов – инвестиционных проектов.

С целью уменьшения рисков кредитования выбранная технология принятия решения предусматривает две ступени оценки инвестиционных проектов. Первая – это выявление проектов с незначительными и низкими рисками из общего возможно большого числа проектов методом экспертов [4],[5]. Этот метод использует пессимистические и оптимистические интервальные оценки, предоставляемые экспертами относительно всех проектов, конденсирует это знание и на множестве возможных рисков строит уровни для каждого инвестиционного проекта, откуда и определяются проекты с низкими или незначительными рисками.

Вторая ступень предусматривает применение к отобраным на первой ступени сравнительно малого количества проектам возможностного дискриминационного метода (он конструируется в этой работе) с целью сравнения их друг с другом и выявления проектов высокого качества, для которых уже делается совет-вывод по выдаче кредита.

В конце работы приводится пример, который ясно демонстрирует возможности применения предлагаемой технологии.

Ключевые слова: *риски инвестиционных проектов, экспертные оценки, положительные и отрицательные меры дискриминации, эксперт, возможностное распределение.*

Введение

Инвестиционная деятельность в условиях рыночной экономики и конкуренции часто связана с риском, особенно в сфере кредитования. Поэтому вопрос о повышении эффективности кредитной политики и снижении кредитных рисков является актуальным.

Нередко решения должны приниматься в условиях, когда имеется ряд альтернативных или взаимно независимых проектов. В этом случае необходимо сделать выбор одного или нескольких проектов, основываясь на каких-то критериях. Очевидно, критериев может быть несколько, а вероятность того, что какой-то один проект будет предпочтительнее других по всем критериям, как правило, очень мала.

Сложность принятия инвестиционных решений объясняется рядом причин:

- необходимостью учета большого объема разнородной и противоречивой информации, приводящей к сложно преодолимым математическим трудностям при формализации и решении рассматриваемых задач;

- необходимостью учёта факторов неопределенности, имеющих не статистическую природу (субъективные оценки, экспертно-лингвистическая неопределённость, игровая неопределённость, оценка рисков при принятии финансовых решений и т.д.);
- невозможностью получения вероятностно-статистических данных о складывающихся ситуациях в сложных организационно-технических системах;
- невозможностью применения точных методов из-за отсутствия необходимого объема данных или невозможности их накопления по соображения стоимости, риска или из-за отсутствия времени на сбор необходимой информации;
- и, наконец, отсутствием точных методов.

Итак, на принятие инвестиционных решений влияют разнородные факторы неопределенности, необходимость формализации и обработки имеющихся нечетких, недостаточных и иногда в основном экспертных данных. Если названные ограничения при принятии решений не учитываются, это приводит к неадекватным, неприемлемым решениям.

Принятие решений инвестиционного характера основывается на использовании различных формализованных и неформализованных методов. Чтобы качественно исследовать природу рисков финансовых решений банков, необходимо применить специализированные математические методы, например, основанные на нечеткой логике.

Использование математического аппарата теории нечетких множеств позволяет анализировать не только количественные, но также и качественные (вербальные) показатели инвестиционного проекта. Таким образом, становится возможным производить не только полноценный (качественно-количественный), но еще и корректный анализ проекта с целью последующего принятия решения.

Важным является тот факт, что в процессе анализа инвестиционных проектов используются экспертные оценки, которые могут служить определяющим аргументом при принятии решения о кредитовании. Необходимо отметить, что экспертные оценки не подчиняются аксиоматике и законам теории вероятности. В связи с этим, использование нечетко-множественного подхода позволит корректно работать с изначально качественными (вербальными) экспертными оценками. Например, при анализе риска инвестирования банками полное множество возможных рисков разбивается на ряд следующих (в общем случае пересекающихся) нечетких подмножеств вида: "предельный риск неудачного инвестирования", "степень риска неудачного инвестирования высокая", "степень риска неудачного инвестирования средняя", "низкая степень риска неудачного инвестирования", "риск неудачного инвестирования незначителен". Нечетко-множественные модели строят функциональное соответствие между вербальной экспертной информацией (нечеткими лингвистическими понятиями) и специальными функциями, выражающими степень принадлежности значений оцениваемых, измеряемых параметров (в данном случае кредитоспособность) нечетким описаниям.

Применительно к задачам оценки кредитоспособности теория нечетких множеств имеет неоспоримое преимущество перед вероятностными подходами, т.к. экспертные системы, построенные на ее основе, обладают повышенной степенью обоснованности принимаемых решений. Это связано с тем, что в расчет попадают все возможные сценарии развития событий, что несвойственно вероятностным методам, рассчитанным на конечное (дискретное) множество сценариев.

Нечеткая логика широко используется при решении задач интеллектуального моделирования и особенно при построении экспертно-аналитических систем поддержки принятия решений.

На сегодняшний день наиболее актуально создание таких информационно-экспертных технологий, которые наряду с использованием объективных баз данных используют и знания опытных экспертов, менеджеров, т.е. базы знаний: объективно-экспертная информация позволяет принять достоверные советы-решения. Создание таких технологий особенно

важно для развивающихся стран (к которым относится Грузия.) потому что, если учесть соответствующие условия и среду, когда объективных данных для принятия решения очень мало или вовсе нет, остается единственный путь – получение данных от опытного эксперта-менеджера. Но в таких условиях с помощью знаний и интеллектуальной активности менеджера получаются только экспертные данные. Анализ же таких данных и получение достоверных оценок возможно сделать только на основе экспертно-информационных технологий. Всё это полностью относится к проблеме оценки финансовых рисков.

Исходя из сформулированных выше проблем авторами работы предлагается комбинированный метод, целью которого является оценка рисков в инвестиционных решениях. Метод основывается на экспертных данных, которые получают от членов конкурсной комиссии инвестиционного фонда. Он состоит из двух этапов.

Первый этап подразумевает отбор из большого количества проектов тех из них, у которых риски кредитования минимальны. Эти риски выявляются при помощи метода экспертов, который, в свою очередь, применяет упомянутые экспертные данные. Такой подход оправдан, т.к. в случае значительных кредитований число инвестиционных проектов-кандидатов, как правило, велико.

На втором этапе с помощью возможностного дискриминационного метода происходит сравнение отобранных проектов друг с другом и их качественное упорядочение. Для этого необходима была модификация нечеткого дискриминационного метода [9], так как в данном случае используются только экспертные данные, в то время как классический вариант метода работает только с объективными данными.

В итоге, был создан новый метод, который позволяет с большой достоверностью выявить инвестиционные проекты с минимальными рисками и в виде совета сформулировать уровни возможностей их кредитования. И, наконец, построена система-советчик, которая полностью основана на созданном комбинированном методе. Приводится пример, из которого ясно видны перспективы применения предлагаемой технологии принятия решения.

§1. Нечеткие методы принятия решений для оценки инвестиционных проектов

Когда инвестиционному фонду, банку неким юридическим лицом предоставляется бизнес-план с целью получения кредита, задачей экспертов фонда является проверка состояния дел этого юридического лица. В частности, производится проверка определенных существенных для выдачи кредита факторов. Множество факторов, как правило, определяет группа экспертов инвестиционного фонда – членов конкурсной комиссии фонда. При изучении деятельности претендента на кредитование выбранные факторы могут быть выявлены, а могут и отсутствовать.

Пусть множество всех возможных факторов

$$\Omega = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}, \quad (1)$$

а множество тех факторов, которые выявлены у данного юридического лица –

$$\Omega' = \{w_{j_1}, w_{j_2}, \dots, w_{j_k}\}. \quad (2)$$

Допустим, инвестиционный фонд принимает решения по выдаче кредита, которые различаются не только суммой кредитования, но и условиями выдачи кредита. Множество решений обозначим через

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}. \quad (3)$$

Одним из возможных методов принятия решений при данных обстоятельствах может быть нечеткий дискриминационный анализ, если удастся построить таблично-числовую базу знаний [9],[10] (новый возможностный вариант этого метода см. §4):

Ω D	w_1	w_2	\dots	w_j	\dots	w_n
d_1	f_{11}	f_{12}	\dots	f_{1j}	\dots	f_{1n}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
d_i	f_{i1}	f_{i2}	\dots	f_{ij}	\dots	f_{in}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
d_m	f_{m1}	f_{m2}	\dots	f_{mj}	\dots	f_{mn}

Таблица 1. Таблично-числовая база знаний для инвестиционных оценок

Как известно, таблично-числовую базу знаний можно построить двумя путями:

- если существуют информационные базы статистических данных об уже осуществленных успешных инвестиционных проектах, то f_{ij} обозначает долю тех решений d_i , которые были правильно приняты при наличии фактора w_j .
- если же информационные базы вообще не существуют или существуют, но количество успешных проектов, представленных в них, мало, то величины f_{ij} можно оценить посредством психометрического опроса известных экспертов в данной области. Тогда f_{ij} будет обозначать долю тех экспертов, которые считают верным решение d_i , если инвестиционный проект обладает фактором w_j .

В дальнейшем мы применяем нечеткий возможностный дискриминационный анализ для отбора кандидатов-юридических лиц, желающих получить кредит.

Известно, что при большом количестве рассматриваемых факторов и альтернативных решений, т.е. когда размерность таблично-числовой базы знаний велика, надежность результата применения дискриминационного анализа низка [10]. Поэтому актуальным становится использование некоего метода предварительного отбора, который из числа всех претендентов на кредитование оставит только тех, чей прогноз соответствует кредитованию с наименьшим риском.

Итак, в задаче принятия решений об инвестиционных проектах в данной работе можно выделить два этапа:

- первоначальный отбор претендентов на кредитование из большого числа кандидатов;
- окончательное принятие решения (отбор одного или нескольких юридических лиц).

Первоначальный отбор участников конкурса произведем, используя метод экспертов [4],[5]. Окончательное же решение получим с помощью возможностного варианта дискриминационного анализа, сконструированного в данной работе.

§2. Описание метода экспертонов для выявления инвестиционных проектов с наименьшими рисками кредитования

Для оценки конкурсной комиссией фонда результатов конкурса, представления результатов в общем, конденсирования и получения оптимальных оценок воспользуемся теорией экспертонов [4],[5].

Целью экспертной технологии будет аккумуляирование субъективных оценок членов конкурсной комиссии фонда в созданную нами специальную модель экспертной системы принятия решения. После же этого – предоставление экспертной системы членам конкурсной комиссии в качестве системы ассистента-советчика для принятия решения (отбора кандидатов с наименьшими рисками). Такая система была бы наилучшим инструментом, позволяющим получить оптимальную совместную оценку всех членов комиссии, опираясь на их знания и интеллектуальную активность.

Начало теории экспертонов было положено в 90-тых годах прошлого столетия А. Кауфманном [4].

Экспертон – это обобщение понятия вероятности случайного нечеткого события, когда вероятность случайного события каждого α -среза заменяется на доверительные интервалы. Эти интервалы, в свою очередь, статистически определяются группой экспертов.

Представим концепцию теории экспертонов.

Пусть E – множество определенных объектов, факторов и т.д., конечное или бесконечное. Группе из r экспертов предлагается высказать свое субъективное мнение относительно каждого элемента из E в виде доверительного интервала:

$$\forall P \in E : [a_*^j(P), a_*^j(P)] \subset [0,1], \quad (4)$$

где символ \subset означает включение, а j - номер эксперта.

Рассматривается статистика, когда каждому элементу $P \in E$ ставится в соответствие как нижняя, так и верхняя границы доверительных интервалов. Кумулятивный закон распределения $F_*(\alpha, P)$ построен на основе $a_*^j(P)$, а $F^*(\alpha, P)$ – на основе $a_*^j(P)$. Отсюда получается

$$\forall P \in E, \quad \forall \alpha \in [0,1]: \tilde{A}(P) = [F_*(\alpha, P), F^*(\alpha, P)], \quad (5)$$

где \tilde{A} означает экспертон.

Само множество E представляет собой следующий экспертон:

$$\forall P \in E, \quad \forall \alpha \in [0,1]: [F_*(\alpha, P), F^*(\alpha, P)] = 1. \quad (6)$$

Пустой экспертон, который, обычно обозначается символом \emptyset , задается так:

$$\forall P \in E : [F_*(\alpha, P), F^*(\alpha, P)] = \begin{cases} 1, & \alpha = 0 \\ 0, & \alpha \neq 0 \end{cases}.$$

Очевидны следующие свойства экспертона:

$$\forall P \in E, \quad \forall \alpha, \alpha' \in [0,1]: (\alpha < \alpha') \Rightarrow \\ ([F_*(\alpha', P), F^*(\alpha', P)] \subset_i [F_*(\alpha, P), F^*(\alpha, P)])$$

где \subset_i означает интервальное включение, т.е.

$$(\alpha < \alpha') \Rightarrow ([F_*(\alpha', P) \geq F_*(\alpha, P)] \text{ и } [F^*(\alpha', P) \leq F^*(\alpha, P)]).$$

§3. Пример применения метода экспертов для отбора кандидатов с наименьшими рисками

Рассмотрим условный пример, в котором конкурсная комиссия фонда состоит, скажем, из 10-ти членов ($i = \overline{1, 10}$), а количество возможных оценок риска данного конкурсанта, т.е. возможных решений (рисков выдачи кредитов) пусть будет равно 4-м ($P_j, j = \overline{1, 4}$):

P_1 : кредитование с незначительным риском

P_2 : кредитование с низким риском

P_3 : кредитование со средним риском

P_4 : кредитование с высоким риском .

Допустим, что члены конкурсной комиссии высказали предположение относительно 4-х возможных решений, уровней рисков выдачи кредита для данного конкурсанта, P_1, P_2, P_3, P_4 . Вместо того, чтобы выразить свое мнение числом $\alpha \in [0,1]$, они задают оценки доверительными интервалами, которые включает интервал $[0,1]$: $[a_1, a_2] \subset [0,1]$, где a_1 – это пессимистический уровень данного риска, а a_2 – оптимистический уровень данного риска.

Такой подход облегчает члену экспертной комиссии возможность быть интеллектуально активным, позволяет проявить свои знания и опыт при назначении уровней рисков.

Тогда сводная таблица оценок экспертов, выраженных доверительными интервалами, может выглядеть следующим образом:

		Возможные решения (риски выдачи кредитов)			
		P_1	P_2	P_3	P_4
Уровни рисков P_i	Эксперты i				
		1	[0.2,0.4]	[0.3,0.5]	[0.3,0.4]
2	0.5	[0.1,0.2]	[0.5,0.6]	[0.3,0.6]	
3	[0.3,0.5]	[0.5,0.6]	[0.3,0.6]	0.5	
4	[0.1,0.1]	[0.4,0.7]	0.9	[0.4,0.5]	
5	[0.5,0.7]	[0.3,0.4]	[0.6,0.8]	0.3	
6	[0.2,0.3]	0.6	[0.2, 0.7]	0.4	
7	[0.1,0.2]	[0.8, 1]	0.4	[0.6,0.8]	
8	[0.4,0.5]	[0.4,0.6]	[0.4,0.6]	[0.3,0.7]	
9	1	[0.2,0.4]	[0.5,0.7]	[0.3,0.4]	
10	[0.5,0.6]	[0.7,0.8]	0.4	0.3	

Рассмотрим 11 α -уровней от 0 до 1, и для каждого из возможных решений $P_i, i = \overline{1, 4}$ вычислим две статистики каждого уровня: одну для нижней границы интервала, а другую – для верхней. Если теперь перевести эти статистики на множество уровней $\{0, 0.1, 0.2, \dots, 0.9, 1\}$, получим следующую таблицу, которая и представляет собой экспертон:

Уровень	Возможные решения			
	P_1	P_2	P_3	P_4
0	1	1	1	1
0.1	1	1	1	1
0.2	[0.8, 0.9]	[0.9, 1]	1	1
0.3	[0.6, 0.8]	[0.8, 0.9]	[0.9, 1]	1
0.4	[0.5, 0.7]	[0.6, 0.9]	[0.7, 1]	[0.5, 0.8]
0.5	[0.4, 0.6]	[0.4, 0.7]	[0.4, 0.7]	[0.2, 0.6]
0.6	[0.1, 0.3]	[0.3, 0.6]	[0.2, 0.7]	[0.1, 0.3]
0.7	[0.1, 0.2]	[0.2, 0.3]	[0.1, 0.4]	[0, 0.2]
0.8	[0.1, 0.1]	[0.1, 0.2]	[0.1, 0.2]	[0, 0.1]
0.9	[0.1, 0.1]	[0, 0.1]	[0.1, 0.1]	0
1	[0.1, 0.1]	[0, 0.1]	0	0

Итак, эксперт — это обобщение вероятности, когда кумулятивные вероятности заменяются монотонно убывающими интервалами. В теории экспертов доказано [5], что эксперт удовлетворяет тем же алгебраическим свойствам, что и вероятность, если соблюдены специальные правила монотонности. Монотонность здесь подразумевается в смысле интервальной монотонности с целью уменьшения информационной энтропии.

Проводятся следующие преобразования эксперта \tilde{A} :

- вычисляется усредненный эксперт взятием среднего арифметического границ каждого интервала;
- усредненный эксперт приводится к нечеткому множеству вычислением средних значений;
- при необходимости находится ближайшее к нечеткому четкое множество.

В случае данного примера соответствующий усредненный эксперт имеет вид:

P_1	P_2	P_3	P_4
1	1	1	1
1	1	1	1
0.85	0.95	1	1
0.70	0.85	0.95	1
0.60	0.75	0.85	0.65
0.50	0.55	0.55	0.40
0.20	0.45	0.45	0.20
0.15	0.25	0.25	0.10
0.10	0.15	0.15	0.05
0.10	0.05	0.10	0
0.10	0.05	0	0

После вычисления средних значений для каждого P_i на $\{P_1, P_2, P_3, P_4\}$ получаем возможностное распределение выявления рисков данного конкурента

P_1	P_2	P_3	P_4
0.4818	0.55	0.5727	0.4909

Для получения единственного решения применяется принцип максимума: $\delta(P_i) = \max_i(P_i)$. Это означает, что соответствуясь с общим мнением экспертов (их 10)

экспертон отдает предпочтение решению P_3 , т.е. кандидат обладает средним риском кредитования.

Ближайшее же четкое множество

P_1	P_2	P_3	P_4
0	1	1	0

в нашем случае однозначного решения не дает.

Вместо нахождения ближайшего к нечеткому четкого множества можно было упорядочить возможные решения, риски по возрастанию $P_3 > P_2 > P_4 > P_1$, чтобы установить их приоритет.

Очевидно, что после обработки информации методом экспертонов, из группы конкурсантов оставляем только тех, чей прогноз соответствует кредитованию с незначительным риском и, возможно, кредитованию с низким риском.

§4. Возможностный дискриминационный анализ

Приведенные здесь материалы (полученные результаты) основаны на работах [9],[10].

В задачах принятия решений об инвестиционных проектах величины f_{ij} (см. табл. 1) можно получить только посредством психометрического опроса экспертов, т.к. для каждого проекта совокупность факторов Ω' (см. (2)) различна, и вряд ли приходится надеяться на наличие информационных баз статистических данных. Таким образом, вместо частотной таблично-числовой базы знаний целесообразно построение т.н. возможностной таблично-числовой базы знаний:

$D \backslash \Omega$	w_1	w_2	...	w_j	...	w_n
d_1	π_1^1	π_2^1	...	π_j^1	...	π_n^1
...
d_i	π_1^i	π_2^i	...	π_j^i	...	π_n^i
...
d_m	π_1^m	π_2^m	...	π_j^m	...	π_n^m

Таблица 2. Таблица возможностного распределения для дискриминационного анализа

Здесь $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ – это все кандидаты с наименьшими рисками, отобранные методом экспертонов.

$\Omega = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ – это все возможные факторы, которые можно выявить у юридических лиц – отобранных для получения кредита кандидатов.

π_j^i – это условная возможность того, что ЛПР* примет решение d_i , если проявляется фактор w_j (определение условной возможности см. в (7)).

* ЛПР – лицо, принимающее решение

Существует несколько способов построения таблицы возможностного распределения [3],[4],[5],[10],[11],[16]. Например, один из них таков: если известны величины f_{ij} , тогда каждая строка таблицы 1 нормализуется и получаем:

$$\pi_j^i = \frac{f_{ij}}{\max_{j=1,n} f_{ij}}. \quad (7)$$

Технически определение величин f_{ij} (заполнение таблично-числовой базы знаний, см. формулу (8)) в этом случае можно осуществить следующим образом: экспертам предоставляются шаблоны таблицы 1 (например, пересылаются с помощью Интернета), каждый эксперт в свою таблицу запишет последовательность 1-ниц и 0-лей. Например, в ячейку (i, j) записывается 1, если эксперт считает, что при наличии фактора w_j правильно принять решение d_i (выявить кандидата d_i на получение кредита). В противном случае записывается 0.

$D \backslash \Omega$	w_1	w_2	...	w_j	...	w_n
d_1	1	0	...	0	...	1
...
d_i	0	1	...	0	...	1
...
d_m	1	0	...	1	...	1

Таблица 3. Пример шаблона, заполняемого экспертом

Если в психометрическом опросе участвует N экспертов, то

$$f_{ij} = \frac{N_{ij}}{N}, \quad (8)$$

где N_{ij} это доля тех экспертов из N , которые «поддержали» решение d_i , если у рассматриваемого кандидата d_i обнаружился фактор w_j (в ячейке (i, j) была записана 1-ица).

Очевидно, что построение такой базы знаний несложно и занимает малое количества времени, если активность экспертов будет высокой. В то же время нет необходимости собирать экспертов вместе, что немаловажно, так как не требуется различного рода финансовых затрат. В экспертную группу можно пригласить наиболее квалифицированных экспертов из разных стран. Это, в свою очередь, гарантирует высокий уровень объективности и полностью исключает их заинтересованность в рассматриваемом конкретном проекте (сосуществование факторов Ω'). Таким образом построенная база знаний опирается на базу знаний экспертов, в которой отражены их знания, опыт, а также учитывается высокий уровень их объективности. Все это позволяет принять на множестве факторов Ω' решение d_{i_0} (т.е. кандидат d_{i_0} получает кредит), имеющее высокую достоверность.

После построения таблицы возможностного распределения алгоритм возможностного варианта метода дискриминационного анализа может выглядеть следующим образом:

- 1). используя известный принцип трансформации [3] таблицу возможностного распределения преобразуем в таблицу вероятностного распределения. Скажем, для $\forall d_i$ ($i=1,2,\dots,m$) пусть

$$\pi_{j_1}^i \geq \pi_{j_2}^i \geq \dots \geq \pi_{j_n}^i, \quad (9)$$

тогда условная вероятность f_j^i , соответствующая возможности π_j^i , выражается формулой

$$f_{j_s}^i = \sum_{\ell=s}^n \frac{1}{S} (\pi_{j_\ell}^i - \pi_{j_{\ell+1}}^i), \quad (10)$$

где $s=1, 2, \dots, n$, $\pi_{j_{n+1}}^i \equiv 0$;

- 2). возвращаемся к задаче дискриминационного анализа, когда для каждого d_i вместо объективных частот имеем вероятностную шкалу, полученную из возможностного распределения;
- 3). на $D \times \Omega$ строим положительные и отрицательные дискриминации с вычислением конкретных уровней совместимости, которые в общности определяют, насколько влияет (положительная дискриминация) и насколько не влияет (отрицательная дискриминация) на решение данный фактор по сравнению с другими факторами:

$$p_{ij} = \frac{1}{n+1} \left\{ 1 + \frac{\sum_{k: f_k^i < f_j^i} (f_j^i - f_k^i)^{\alpha_1}}{1 + \frac{1}{\sum_{k: f_k^i > f_j^i} (f_k^i - f_j^i)^{\alpha_2}}} \right\}, \quad (11)$$

$$n_{ij} = \frac{1}{n+1} \left\{ 1 + \frac{\sum_{k: f_k^i > f_j^i} (f_k^i - f_j^i)^{\alpha_1}}{1 + \frac{1}{\sum_{k: f_k^i < f_j^i} (f_j^i - f_k^i)^{\alpha_2}}} \right\}, \quad \alpha_s > 0, s=1,2. \quad (12)$$

Информационный смысл положительной дискриминации p_{ij} таков: это есть уровень того, насколько фактор w_j влияет на принятие решения d_i по сравнению с другими остальными факторами.

Информационное содержание же отрицательной дискриминации n_{ij} следующее: это есть уровень того, насколько не влияет фактор w_j на принятие решения d_i по сравнению с другими остальными факторами.

Замечание 1: ясно, что положительная и отрицательная дискриминации не являются взаимно дополняющими понятиями (в общем случае, $p_{ij} + n_{ij} \neq 1$) и поэтому влияние фактора w_j на принятие решения d_i представляется в виде пар $(p_{ij}; n_{ij})$.

Замечание 2: если π_j^i – числа «почти» одного порядка, тогда для «спектрального разложения» величин чисел p_{ij} и n_{ij} желательнее взять значения $\alpha_s < 1$ по принципу наилучшего соответствия эксперименту;

- 4). если перед принятием конкретного решения определилась некая совокупность факторов $\Omega' = \{w_{j_1}, w_{j_2}, \dots, w_{j_k}\}$, тогда с целью уменьшения информационной энтропии на множестве решений D строятся положительные и отрицательные возможные дискриминации:

$$\pi_i = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k p_{ij_l}, \quad \nu_i = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k n_{ij_l}; \quad (13)$$

- 5). на D строится возможностное распределение, $\forall i = 1, 2, \dots, m$:

$$\delta_i = \frac{1}{2} (\pi_i^\beta + (1 - \nu_i)^\beta), \quad \beta > 0. \quad (14)$$

Замечание 3: если π_i и ν_i – числа «почти» одного порядка, тогда для «спектрального разложения» величин чисел δ_i желательнее взять значения $\beta < 1$ по принципу наилучшего соответствия эксперименту;

- 6). решение δ_{i_0} , которое имеет максимальное значение на возможностном распределении $\{\delta_i\}$, будем считать самым достоверным (убедительным) из возможных решений:

$$\delta_{i_0} = \max_i \delta_i. \quad (15)$$

§5. Пример применения возможностного дискриминационного анализа

Второй этап принятия решения об инвестиционных проектах подразумевает более подробный анализ внешних и внутренних факторов, которые определяют состояние и перспективы развития дел каждого претендента. Т.е. если в методе экспертов отбор происходил по классам риска кредитования, то в дальнейшем предполагается выбор из отобранных кандидатов на основе оценки их факторов. Оценивать кандидатов будем методом возможностного дискриминационного анализа.

Выделим главные факторы $w_k, k = \overline{1, 9}$, по которым юридическому лицу, принимающему участие в конкурсе за получение кредита будут выставляться оценки всеми членами экспертной комиссии.

К примеру, можем иметь следующие факторы [5],[10],[11],[15]:

- w_1 : доходность бизнеса конкурсанта
- w_2 : цель получения кредита
- w_3 : залог – обеспечение покрытия взятого кредита
- w_4 : размер кредита (денежная величина)
- w_5 : выплачиваемая процентная надбавка
- w_6 : срок выдачи долга (кредита)
- w_7 : срок возврата долга (кредита)
- w_8 : ежемесячная выплата долга и начисленных процентов (схема возврата)
- w_9 : процентное соотношение залога к денежной величине кредита

Как уже упоминалось, каждый член экспертной комиссии фонда может оценить тот или иной фактор числами 1 или 0. Члены экспертной комиссии заполняют таблицы-шаблоны, в которых d_i означает участников, а w_k - определенный перечень оцениваемых факторов.

Тогда соответствующая таблица будет иметь вид:

$D \backslash \Omega$	w_1	w_2	...	w_j	...	w_9
d_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1j}	...	f_{1n}
d_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2j}	...	f_{2n}
...
d_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mj}	...	f_{m9}

где f_{ij} представляет собой усредненную по количеству членов конкурсной комиссии фонда величину, которая описывает уровень j -того фактора для i -того кандидата.

Пусть, как и прежде, конкурсная комиссия фонда состоит из 10-ти членов, оцениваемые факторы $w_k, k = \overline{1, 9}$, а количество кандидатов после предварительного отбора $d_i, i = \overline{1, 4}$.

Допустим, сводная таблица величин f_{ij} имеет вид:

$D \backslash \Omega$	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
d_1	0.3	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2
d_2	0.3	0.1	0.4	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4
d_3	0.1	0.5	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3
d_4	0.3	0.2	0.1	0.4	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1

Вычислим таблицу возможностного распределения (π_j^i):

$D \backslash \Omega$	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
d_1	0.75	0.5	1.0	0.25	0.5	0.25	0.75	0.25	0.5
d_2	0.75	0.25	1.0	0.75	0.75	0.5	1.0	0.75	1.0
d_3	0.2	1.0	0.2	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.6
d_4	0.75	0.5	0.25	1.0	0.75	1.0	0.25	1.0	0.25

Преобразуем ее в таблицу условного вероятностного распределения (f_j^i),

Ω D	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
d_1	0.375	0.125	1.0	0.0357	0.1	0.03125	0.25	0.02778	0.08333
d_2	0.1875	0.02778	0.33333	0.15	0.125	0.0625	1.0	0.10714	0.5
d_3	0.025	1.0	0.02222	0.08	0.06667	0.3	0.5714	0.1	0.2
d_4	0.1875	0.08333	0.03571	1.0	0.15	0.5	0.03125	0.33333	0.02778

а затем для вычисления таблиц положительных и отрицательных дискриминаций в качестве коэффициентов α_s , $s=1,2$ возьмем значения $\alpha_1 = 0.3$, $\alpha_2 = 0.95$ (выбранные эмпирическим путем для «спектрального разложения» величин p_{ij} и n_{ij}). В результате эти таблицы будут иметь вид:

Ω p, n	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
p_{ij}	0.63524	0.36262	0.96609	0.17906	0.30521	0.15376	0.51132	0.13509	0.26363
	0.38231	0.12995	0.53406	0.31381	0.26155	0.16931	0.94895	0.22292	0.67578
	0.15419	0.97257	0.13676	0.2871	0.24442	0.59972	0.21297	0.34306	0.48436
	0.40310	0.25885	0.17527	0.95352	0.34304	0.68369	0.15006	0.54532	0.13147
n_{ij}	0.1814	0.26011	0.11155	0.34841	0.27727	0.36647	0.21176	0.38498	0.29302
	0.26077	0.43393	0.20708	0.28354	0.30501	0.37797	0.11178	0.32537	0.16816
	0.35504	0.11146	0.37208	0.27288	0.28846	0.18973	0.30342	0.25689	0.21525
	0.25907	0.32646	0.38128	0.11172	0.28001	0.16795	0.39930	0.20660	0.41778

Теперь вычислим величины π_i и ν_i , которые представляют собой усредненные по всем факторам значения соответственно положительной и отрицательной дискриминаций для i -того конкурсанта:

π, ν D	π_i	ν_i
d_1	0.390223	0.27055
d_2	0.404293	0.274846
d_3	0.381682	0.262803
d_4	0.404923	0.283352

Если совокупность факторов, одновременно проявившихся у всех кандидатов, является подмножеством $\Omega' = \{w_{j_1}, w_{j_2}, \dots, w_{j_k}\}$ множества Ω всех факторов, для вычисления π_i и ν_i из таблиц положительных и отрицательных дискриминаций выбираются только те столбцы, которые соответствуют факторам $w_{j_1}, w_{j_2}, \dots, w_{j_k}$ из Ω' . В данном примере выбираются все столбцы, т. е. выявленные у всех кандидатов факторы составляют все множество Ω .

Приняв значение коэффициента $\beta = 0.85$ (выбранное эмпирическим путем для «спектрального разложения» величин δ_i), получаем возможностное распределение на $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$:

$D \backslash \delta$	δ_j
d_1	0.60709
d_2	<u>0.612043</u>
d_3	0.606352
d_4	0.608552

Окончательное решение будет $\delta_2 = \max_j \delta_j$, т.е. инвестиционный проект кандидата d_2 получает кредит.

§6. Применение и апробация компьютерной системы поддержки принятия решения (Decision Support System – DSS)

Было создано программное обеспечение – компьютерная система поддержки принятия решения “Fuzzy Decision”. Блок принятия решения системы состоит из двух основных модулей: один – для работы метода экспертов, второй – для работы нечеткого возможностного дискриминационного метода.

Была проведена апробация созданной DSS на конкретных данных. Вся необходимая для этого информация (частоты, вид неопределенности, «тело данных» и др.) была получена из «Банка Грузии» и отобрана в соответствии с нашими воззрениями после необходимых консультаций с менеджерами департамента кредитования банка.

Рассматривались 12 кандидатов на получение кредита. Экспертная комиссия включала 10 членов. На первом этапе отбора кандидатов экспертные данные обрабатывались первым из программных модулей, основанном на методе экспертов.

Приведем конкретные случаи работы метода экспертов для 2-х претендентов на получение кредита.

1. Обработка результатов одного из кандидатов:

Интервальные оценки экспертов

	кредитование с незначительным риском		кредитование с низким риском		кредитование со средним риском		кредитование с высоким риском	
1	0.2	0.3	0.6	0.7	0.3	0.4	0.3	0.3
2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.0	0.0	0.2	0.4
3	0.1	0.7	0.8	0.9	0.1	0.2	0.1	0.2
4	0.3	0.4	1.0	1.0	0.1	0.3	0.0	0.0
5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.1	0.2	0.5	0.6
6	0.8	1.0	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
7	0.4	0.8	0.0	0.1	0.3	0.7	0.6	0.7
8	0.4	0.5	1.0	1.0	0.8	1.0	0.4	0.4
9	0.0	0.1	0.9	1.0	0.0	0.0	0.3	0.4
10	0.2	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.2	0.5

вычисленный эксперт (промежуточные вычисления)

0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.1	0.9	1.0	0.9	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9
0.2	0.8	0.9	0.9	0.9	0.5	0.8	0.8	0.9
0.3	0.6	0.9	0.8	0.9	0.5	0.6	0.6	0.8
0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	0.3	0.5	0.3	0.6
0.5	0.3	0.6	0.7	0.8	0.2	0.3	0.2	0.3
0.6	0.2	0.5	0.6	0.8	0.1	0.2	0.1	0.2
0.7	0.1	0.3	0.4	0.6	0.1	0.2	0.0	0.1
0.8	0.1	0.2	0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0
0.9	0.0	0.1	0.3	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0
1.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0

усредненный эксперт

0.0	1.00	1.00	1.00	1.00
0.1	0.95	0.95	0.80	0.90
0.2	0.85	0.90	0.65	0.85
0.3	0.75	0.85	0.55	0.70
0.4	0.65	0.80	0.40	0.45
0.5	0.45	0.75	0.25	0.25
0.6	0.35	0.70	0.15	0.15
0.7	0.20	0.50	0.15	0.05
0.8	0.15	0.45	0.10	0.00
0.9	0.05	0.35	0.05	0.00
1.0	0.05	0.25	0.05	0.00

финальное возможностное распределение на прогнозируемых классах

кредитование с незначительным риском	кредитование с низким риском	кредитование со средним риском	кредитование с высоким риском
0.495455	0.681818	0.377273	0.395455

прогноз (совет-решение) : кредитование с низким риском

Такое решение разрешает кандидату продолжить участие в конкурсе на получение кредита.

2. Обработка результатов другого кандидата:

Интервальные оценки экспертов

	кредитование с незначительным риском	кредитование с низким риском	кредитование со средним риском	кредитование с высоким риском
1	0.3 0.4	0.2 0.4	0.3 0.4	0.4 0.5
2	0.1 0.2	0.5 0.5	0.5 0.6	0.3 0.6
3	0.1 0.1	0.3 0.5	0.3 0.6	0.5 0.5
4	0.2 0.3	0.1 0.1	0.8 0.9	0.4 0.5
5	0.3 0.5	0.5 0.7	0.6 0.8	0.6 0.6
6	0.6 0.7	0.2 0.3	0.7 1.0	0.4 0.4
7	0.3 0.3	0.1 0.2	0.6 0.7	0.4 0.6
8	0.4 0.6	0.4 0.5	0.4 0.6	0.3 0.7
9	0.2 0.4	0.4 0.9	0.7 0.9	0.4 0.4
10	0.2 0.3	0.5 0.6	0.6 0.6	0.3 0.3

вычисленный эксперт (промежуточные вычисления)

0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.2	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
0.3	0.5	0.8	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
0.4	0.2	0.5	0.5	0.7	0.8	1.0	0.7	0.9
0.5	0.1	0.3	0.3	0.6	0.7	0.9	0.2	0.7
0.6	0.1	0.2	0.0	0.3	0.6	0.9	0.1	0.4

0.7	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.5	0.0	0.1
0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0
0.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

усредненный экспертн

0.0	1.00	1.00	1.00	1.00
0.1	1.00	1.00	1.00	1.00
0.2	0.85	0.85	1.00	1.00
0.3	0.65	0.70	1.00	1.00
0.4	0.35	0.60	0.90	0.80
0.5	0.20	0.45	0.80	0.45
0.6	0.15	0.15	0.75	0.25
0.7	0.05	0.10	0.40	0.05
0.8	0.00	0.05	0.25	0.00
0.9	0.00	0.05	0.15	0.00
1.0	0.00	0.00	0.05	0.00

финальное возможностное распределение на прогнозируемых классах

кредитование с незначительным риском	кредитование с низким риском	кредитование со средним риском	кредитование с высоким риском
0.386364	0.45	0.663636	0.504545

прогноз (совет-решение) : кредитование со средним риском

Такое решение компьютерной системы отклоняет кандидата на получение кредита, так как нами отбираются только кандидаты с наименьшими рисками.

После обработки данных методом экспертонов из всех кандидатов осталось 4 претендента. Их данные продолжают обрабатываться вторым программным модулем, который полностью основан на возможностном дискриминационном анализе. Результаты обработки выглядят следующим образом:

База знаний возможностного дискриминационного анализа

Таблица величин f_{ij}

0.500	0.100	0.400	0.300	0.600	0.200	0.300	0.500	0.400
0.300	0.300	0.400	0.100	0.300	0.400	0.200	0.100	0.200
0.400	0.900	0.100	0.600	0.700	0.500	0.400	0.600	0.800
0.200	0.200	0.100	0.500	0.400	0.400	0.100	0.200	0.100

Таблица возможностного распределения π_j^i

0.833	0.167	0.667	0.500	1.000	0.333	0.500	0.833	0.667
0.750	0.750	1.000	0.250	0.750	1.000	0.500	0.250	0.500
0.444	1.000	0.111	0.667	0.778	0.556	0.444	0.667	0.889
0.400	0.400	0.200	1.000	0.800	0.800	0.200	0.400	0.200

Таблица вероятностного распределения f_j^i

0.4167	0.0185	0.1333	0.0833	1.0000	0.0417	0.0714	0.2778	0.1667
0.2500	0.1875	1.0000	0.0313	0.1500	0.5000	0.0714	0.0278	0.0833
0.0635	1.0000	0.0124	0.1333	0.2593	0.0926	0.0556	0.1667	0.4444
0.1000	0.0800	0.0286	1.0000	0.4000	0.2667	0.0250	0.0667	0.0222

Таблица положительных дискриминаций ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$)

0.5380	0.1223	0.2445	0.1855	0.9348	0.1395	0.1675	0.4054	0.2882
0.3759	0.3021	0.9288	0.1291	0.2563	0.5908	0.1675	0.1227	0.1851
0.1580	0.9336	0.1217	0.2423	0.3895	0.1938	0.1462	0.2867	0.5579
0.2488	0.2140	0.1405	0.9467	0.5456	0.4212	0.1312	0.1914	0.1253

Таблица отрицательных дискриминаций

0.1972	0.5491	0.3499	0.4126	0.1120	0.4978	0.4385	0.2500	0.3143
0.2666	0.3087	0.1121	0.5250	0.3471	0.1895	0.4480	0.5397	0.4228
0.4544	0.1120	0.5606	0.3504	0.2580	0.4035	0.4768	0.3144	0.1945
0.3371	0.3649	0.4650	0.1118	0.1979	0.2487	0.4814	0.3910	0.4960

Принятие решения для совокупности факторов $\Omega' = \{w_1, w_2, w_3, w_6, w_7, w_9\}$

Уточненная таблица положительных дискриминаций

0.53802	0.12226	0.93481	0.13954	0.16749	0.28824
0.37588	0.30210	0.25635	0.59084	0.16746	0.18514
0.15796	0.93358	0.38946	0.19380	0.14616	0.55794
0.24883	0.21399	0.54559	0.42116	0.13115	0.12525

Уточненная таблица отрицательных дискриминаций

0.19715	0.54914	0.11198	0.49781	0.43850	0.31433
0.26658	0.30875	0.34713	0.18950	0.44805	0.42278
0.45438	0.11200	0.25802	0.40354	0.47684	0.19451
0.33711	0.36486	0.19790	0.24874	0.48136	0.49603

π_i	ν_i	δ_i ($\beta = 0.5$)
0.36506	0.35148	0.70475
0.31296	0.33046	0.68884
0.39648	0.31655	0.72819
0.28099	0.35433	0.66681

прогноз (совет-решение) : кредитование разрешено для участника 3

Заключение

Разработан метод обработки и синтеза экспертной информации, который предусматривает комбинирование метода экспертонов Кауфманна и представленного в этой работе метода возможностного дискриминационного анализа. На базе разработанного метода создана система-советчик принятия решения, которая применяется для выявления инвестиционных проектов с минимальными рисками.

Использование и апробация сконструированной системы проведено на основе данных «Банка Грузии» с учетом рекомендаций финансовых менеджеров банка. Результаты представлены в виде примера.

Использованная литература

1. Borisov, A.N. and Aleksyev, A.V. 1989. Processing of fuzzy information indecision-making system, Moskow (in Russian).
2. Belman, B.E. and Zadeh, L.A., 1970/71, Decision-making in a fuzzy environment. *Management Sci.*, 17, pp. B141-B154.
3. Dubois, D. and Prade, H., 1988. *Theorie des Possibilites. Applications ú la representation des connaissances en informatique*, Paric, Milan, Barcelone, Mexico.
4. Kaufmann, A., *Les Expertons*, Hermes, Paris, 1987.
5. Kaufmann A., *Expert Appraisements and Counter-Appraisements with Experton Processes - Analysis and Management of Uncertainty: Theory and Applications*, North-Holland, Amsterdam, pp. 109-132, 1992.
6. Klir, G. J. and Wierman, M. J. 1999. *Unsertainty-Based Information. Elements of Generalized Information Theory*. Second edition. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 15.Heidelberg : Physica-Verlag.
7. Khutsishvili I., 2006, An Application of the statistical method of Fuzzy Grades' Analysis - *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences*, 173, No 2, 266-268.
8. Liu, B., 2002, Toward fuzzy optimization without mathematical ambiguity, *Fuzzy Optim. Decision Making*, 1(1), 43-63.
9. Norris D., Pilsworth P.W. and Baldwin J.F., 1987, Medical Diagnosis from patient records – A method using fuzzy discrimination and connectivity analysis, *Fuzzy Sets and Systems* 23, pp. 73-87.
10. Sirbiladze G., Sikharulidze A. and Korakhashvili G., *Decision-making Aiding Fuzzy Informational Systems In Investments. Part I – Discrimination Analysis In Investment Projects*. Proceeding of Javakhishvili Tbilisi State University. *Applied Mathematic and Computer Sciences* , pp.77-94, Vol.353 (22-23), 2003.
11. Sirbiladze G., Khachidze G., *Decision-making Aiding Fuzzy Informational Systems In Investments. Part II - Demster-Shaper's Expected Utility In Investment Decisions*, Proceeding of Javakhishvili Tbilisi State University *Applied Mathematic and Computer Sciences*, pp.95-108, Vol.353(22-23), 2003.
12. Sirbiladze G. and Gachechiladze T. Restored fuzzy measures in expert decision-making *Information Sciences: an International Journal archive*, Volume 169 (1/2), Pp: 71 – 95, 2005.
13. Sirbiladze G. and Sikharulidze A., 2003, *Weighted Fuzzy Averages in Fuzzy Environment*, Parts I, II, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems*, Vol. 11, No.2, pp. 139-157, 159-172.
14. Smets A., *Medical Diagnosis: Fuzzy sets and Degrees of belief*, *Fuzzy Sets and Systems*, 5, 1981, 259-266.
15. Uymura D.G., Van Deventer D. R. *Financial Risk Managment in Banking*, The McGraw.Hill Company, 1993.
16. Yager, R.R. 2002. On the evaluation of unxertain courses of action. *Fuzzy Optim. Decision Making*, 1(1), (3-4).
17. Yager, R.R. 2007. Aggregation of ordinal information. *Fuzzy Optim. Decision Making*, 6(3), 199-219.

Статья получена: 2009-03-30