АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО КРЕДИТОВАНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Специальность: 3338.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

Отрасль науки: Технические науки

Соискатель: **Алиев Алиага Алекпер оглы**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание учёной степени
доктора философии

Баку – 2021

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Информационные Технологии и Программирование» факультета Прикладной математики и кибернетики Бакинского Государственного Университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Рзаев Рамин Рза оглы

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Кравец Олег Яковлевич

Официальные оппоненты: член-корреспондент НАНА,
доктор технических наук, профессор
Мамедова Масума Гусейн кызы

доктор технических наук, профессор
Алиев Эльчин Рашид оглы

доктор философии по технике
Самедов Рамин Бахтияр оглы

Диссертационный совет ED 1.20 Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующий на базе Института Систем Управления НАНА

Председатель диссертационного совета:

академик,
доктор технических наук, профессор
Аббасов Али Магамед оглы

Ученый секретарь диссертационного совета:

доктор технических наук, профессор
Мусаева Наиля Фуад кызы

Председатель научного семинара:

доктор технических наук, доцент
Пашаев Фахрад Гейдар оглы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень ее разработанности. В настоящее время в Азербайджане наблюдается существенная тенденция увеличения жизненного уровня населения, что однозначно привело к росту рынка кредитования частных (физических) лиц, включая потребительское кредитование, ипотечного кредитование, автокредитование, образовательное кредитования, кредитования при помощи пластиковых карт и т.д. При этом, в банковской сфере и в рамках микро-финансовых организаций Азербайджана доля заёмных финансовых средств достигает 80% от общего капитала. Именно благодаря этим активам и выполняется функция кредитования всех заёмщиков: как физических, так и юридических лиц. В условиях динамичного развития потребительского рынка возврат заёмных средств приобретает первостепенное, если не сказать главное значение для эффективного функционирования коммерческого банка (КБ), особенно, когда кредитование осуществляется в условиях риска и/или неопределенности. С целью формирования кредитного портфеля – оптимального с точки зрения минимизации рисков и максимизации прибыли, для обеспечения максимальной возвратности заёмных денежных средств коммерческими банками проводится предварительная оценка кредитоспособности заявителя, а в нашем случае – физического лица (ФЛ). Например, риск от непогашения суммы основного долга и процентов, можно значительно снизить, оценивая вероятность возврата заёмщиком ссуды. В настоящее время кредит является популярным средством привлечения денежных средств, объёмы выданных кредитов имеют тенденцию ежегодного роста, при этом доля кредитов ФЛ в кредитном портфеле азербайджанских КБ составляет почти шестую часть.

Кредитоспособность ФЛ – это его способность полностью и в срок погасить свою задолженность по своим договорным обязательствам. Поэтому, очевидно, что от степени достоверности оценки кредитоспособности ФЛ зависит весь процесс кредитования. Кредитоспособность ФЛ – это многофакторная катего-

рия, которая должна быть изучена и оценена в каждом конкретном случае на предмет её корреляции с каждым из факторов платёжеспособности ФЛ. При этом, определение изменения всех факторов платёжеспособности, причин и обстоятельств, влияющих на кредитоспособность ФЛ на текущий момент и в перспективе, остаётся существенной и весьма трудной задачей для аналитика. В этой связи, оценка кредитоспособности ФЛ является одной из важнейших задач КБ, от решения которой напрямую зависит формирование надёжного кредитного портфеля и минимизация риска.

В настоящее время КБ, стремясь обеспечить эффективность своей деятельности, разрабатывают свои методики для оценки кредитоспособности потенциальных заёмщиков, используя при этом международный опыт, периодические статистические исследования, требования фискальных органов и макроэкономическую ситуацию в стране. Современные технологии оценки кредитоспособности ФЛ, включая методы и средства Soft Computing технологии, позволяют не только снизить кредитные риски, но и сводят к минимуму ошибку при проведении оценки, ускоряя в целом процесс проведения оценки кредитоспособности ФЛ. С каждым годом технологии оценки совершенствуются и внедряются все большим количеством КБ. Собственно, это и является отправным мотивом для темы настоящей диссертационной работы, определяющее её актуальность на современной стадии развития банковского сектора экономики нашей республики.

Основная цель и задачи исследования. Существенное повышение жизненного уровня населения в Азербайджане стало одной из основных причин развития рынка кредитования ФЛ. Тем не менее, возникающие попеременно кризисы в экономике приводят к увеличению процента невозврата по кредитам, что заставляет КБ пересматривать, а в некоторых случаях и ужесточать свою кредитную политику. Наблюдается корреляция между связанными событиями: чем меньше рискует КБ при кредитовании, тем меньше предлагаемая им процентная ставка, и, следовательно, тем большей клиентской базой КБ будет обладать,

что, в свою очередь, обеспечит ему приобретение большей прибыли. В этом и заключается основная цель коммерческой деятельности банка. Это предопределило основную цель и задачи проводимого исследования, которое сконцентрировано относительно разработки методики в поддержку процесса формирования банком оптимального портфеля кредитов в условиях неопределенности. Более конкретно – это разработка методов оценки кредитоспособности ФЛ, как потенциальных заёмщиков, которые характеризуются количественными и качественными показателями платёжеспособности (ПП), включая их кредитную историю. Конечной целью исследования является разработка аналитического ядра для информационной системы поддержки принятия кредитных решений, которая одинаково была бы понятна аналитикам и пользователям. Предлагаемые в рамках данного ядра методы и модели для оценки кредитоспособности ФЛ отличаются своей гибкостью и транспарентностью, что позволяет сравнительно быстро адаптировать систему к новым изменившимся условиям.

Таким образом, цель диссертационной работы состоит в разработке методов и моделей оценки кредитоспособности физических лиц для формирования информационной системы поддержки принятия кредитных решений в условиях риска и неопределенности. Исходя из этой цели, в работе решены следующие основные задачи:

- анализ причинно-следственных связей между разнородными по природе факторами платёжеспособности, влияющих на уровни кредитоспособности физических лиц;
- формирование системы показателя платёжеспособности для оценки кредитоспособности физических лиц;
- разработка и апробация методов нечёткого вывода и нечёткой максиминной свёртки для оценки кредитоспособности физических лиц;
- разработка экспертной системы для идентификации удельных весов критериев оценки и получения взвешенной оценки кредитоспособности физических лиц;
- разработка методов для оценки кредитоспособности физи-

ческих лиц.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является кредитный портфель физических лиц коммерческого банка, а предмет исследования составляет математический аппарат нечёткого и нейро-нечёткого моделирования и анализа кредитоспособности частных потребителей заёмных финансовых средств.

Применяемая методика исследования. Основу методики исследования составляют методы управленческих технологий с применением элементов искусственного интеллекта, в том числе методов нечёткой логики и нейро-сетевого моделирования, которые хорошо зарекомендовали себя в управлении слабо структурированными системами гуманистического типа. В частности, применение нечётких методов многокритериальной оценки альтернатив позволяет сравнительно легко учитывать множество разномерных параметров для принятия обоснованных решения и не требует сложных математических расчётов. Более того, математический аппарат теории нечётких множеств позволяет одинаково легко оперировать как количественными, так и качественными (слабо структурированными) категориями, что обеспечивает системный подход, консолидирующий разные по своей природе процессы. В рамках данного подхода используется экспертное моделирование, как одно из наиболее распространённых инструментов описания и исследования слабо структурированных систем. При этом основным преимуществом математического аппарата экспертного анализа является предоставляемые им знания, которые можно компилировать как по средствам методов нечёткого вывода и нечёткой максиминной свёртки, так и с помощью нейро-сетевого моделирования или, что еще лучше, посредством гибридной (нейро-нечёткой) системы моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту. Основными результатами, выносимыми на защиту, являются:

- формирование системы показателей платёжеспособности для оценки кредитоспособности физических лиц, как потенциальных клиентов заёмных средств коммерческого

банка;

- описание экспертного подхода к вопросу идентификации удельных весов, относительного влияния показателей платёжеспособности физических лиц;
- разработка подходов, позволяющих компилировать экспертные знания относительно кредитоспособности физических лиц с применением системы нечёткого вывода и нечётких методов простой и взвешенной максиминной свёртки;
- формирование аналитического ядра для разработки информационной системы поддержки принятия кредитных решений.

Научная новизна в исследовании. Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработаны и апробированы методы нечёткого вывода, и нечёткой максиминной свёртки для оценки кредитоспособности физических лиц, предусматривающие комплексную обработку доступной информации, включая слабо структурированные (качественные) характеристики их финансовой стабильности;
2. Разработана экспертная система для идентификации весов критериев оценки и взвешенной оценки кредитоспособности физических лиц и их ранжирования относительно уровней платёжеспособности;
3. Разработан метод для оценки кредитоспособности физических лиц посредством интеграции экспертной системы в логическом базисе нейросети;
4. Разработаны и протестированы подходы и алгоритмы, позволяющие компилировать экспертные знания относительно кредитоспособности физических лиц с применением гибридной (нейро-нечёткой) системы моделирования.
5. Разработано аналитическое ядро информационной системы принятия кредитных решений в условиях риска и неопределенности.

Научно-практическая значимость исследования. Полученные на конкретных примерах разными методами численные

оценки кредитоспособности ФЛ на предмет предоставления им кредитов позволили сформировать методику, существенно повышающую степень объективности результатов относительно ответственности и финансовой надёжности потенциальных заёмщиков, характеризуемых количественными и качественными данными. Предлагаемые в работе подходы является, в определённом смысле, гибким по отношению к возможным дополнениям и/или уточнениям, которые могут быть предъявлены специалистами КБ. Компилирующие экспертные знания нечёткие модели, не выдавая абсолютных значений оценок кредитоспособности ФЛ, способны реагировать на возможные изменения в списке показателей платежеспособности и обеспечить целостность, согласованность и синергетический эффект действий, направленных на оптимизацию кредитного портфеля КБ. Разработанные в диссертации нейро-нечёткие модели протестированы как гипотетических примерах, так и на конкретных примерах, которые получили положительное заключение со стороны экспертного сообщества КБ.

Апробация и внедрения работы. Основные результаты диссертационной работы были изложены:

- на 10-ой Международной научно-практической конференции Интернет – Образование - Наука: ИОН–2016 (2016, Винница, Украина);
- на 21-ой научно-практической конференции докторантов и молодых исследователей (2017, Баку, Азербайджан);
- at the XXIV-th International Open Science Conference «Modern Informatization Problems in Economics and Safety» (2019, Yelm, WA, USA);
- at the International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019" (2019, Krasnoyarsk, Russian Federation);
- на 3-ей Международной научно-практической конференции «Прикладные системы и технологии в информационном обществе» (2019, Киев, Украина);

а также на семинарах кафедры «Информационные Технологии и

Программирование» факультета Прикладной математики и кибернетики Бакинского Государственного Университета и на семинарах Института Систем Управления НАН Азербайджана.

Решения, полученные в диссертационной работе, апробированы на конкретных примерах показателей платежеспособности потенциальных заёмщиков потребительских кредитов в коммерческом банке «Ziraat Bank Azerbaijan». По результатам тестирования и сравнительного анализа с применяемыми в банке скоринговыми системами оценки, руководство банка «Ziraat Bank Azerbaijan» дало положительную оценку проведенным исследованиям, что подтверждается соответствующим завизированным Актом Внедрения (Акт Внедрения прилагается).

Наименование организации, где работа выполнена. Диссертационная работа была выполнена на кафедре «Информационные Технологии и Программирование» факультета «Прикладная Математика и Кибернетика» Бакинского Государственного Университета.

Число опубликованных научных статей. По результатам проведённых исследований всего опубликовано 12 работ: 8 научных статей, в том числе 6 – за рубежом, из которых 3 статьи с международными научными индексами цитирования из архива Web-Science и SCOPUS, и 4 тезиса докладов на конференциях.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованной литературы.

Объем общего и структурного разделов диссертации распределяется примерно следующим образом:

- Всего - 172 000 знаков
- Оглавление – 4 000 знаков
- Введение – 17 000 знаков
- Глава первая – 33 000 знаков
- Глава вторая – 34 000 знаков
- Глава третья - 59 000 знаков
- Глава четвертая – 23 000 знаков
- Результат - 2 000 знаков

СОДЕРЖАНИЕ

Во введении изложена актуальность диссертационной работы, приведён перечень задач и подходов, необходимых для реализации цели диссертации, описана структура и содержание работы, а также искомые результаты, выносимые на защиту.

В первой главе, посвящённой изучению содержания, форм и видов потребительского кредита, а также основным принципам банковского кредитования и анализу проблемы формирования кредитного портфеля в КБ, рассматриваются новые экспертно-аналитические методы моделирования оценки кредитоспособности ФЛ. Для оценки кредитоспособности ФЛ банками применяются три основных подхода: 1) скоринговая оценка, 2) изучение кредитной истории, 3) оценка по финансовым показателям платёжеспособности. При этом, классический подход к объективной оценке ФЛ подразумевает наличие списка ключевых *количественных* и *качественных* показателей, характеризующих экономическую и личную факторы кредитоспособности.

К количественным показателям относятся: 1) текущие и перспективные совокупные чистые доходы; 2) объем депозитных вкладов; 3) обеспечение кредита и его ликвидность; 4) финансовые коэффициенты, характеризующие текущую финансовую стабильность ФЛ и его финансовые возможности по выполнению своих обязательства в соответствии с соглашением по кредиту. В частности, анализ текущей платёжеспособности ФЛ проводится посредством оценки финансовых коэффициентов: F_1 – *PTI* (Payment-to-Income Ratio), 2) F_2 – *OTI* (Obligations-to-Income Ratio), 3) F_3 – коэффициент платёжеспособности.

К качественным характеристикам финансовой стабильности ФЛ относят: 1) его материальное положение; 2) социальную стабильность; 3) возраст; 4) кредитную историю. Тем не менее, большинство из применяемых для оценки кредитоспособности ФЛ методов в основном оперируют количественными характеристиками. В главе отмечается, что нечёткие множества, как способ для формализации лингвистических знаний, позволяют избежать это ограничение. Обосновывается, что применение

аппарата нечёткой логики позволяет банкам при выборе оцениваемых показателей руководствоваться лишь степенью их значимости для принятия кредитного решения, а сама задача оценки кредитоспособности ФЛ не будет сведена к лишь расчёту количественных значений финансовых показателей ФЛ. В главе приводятся методика экспертной многокритериальной оценки альтернатив и некоторые нечёткие методы принятия решений в условиях риска и неопределенности.

Во второй главе предлагается альтернативный подход к оценке кредитоспособности ФЛ, основанный на применении нечётких методов принятия решений в условиях неопределённости. На примере пяти альтернативных ФЛ за основу выбраны 10 критериев, количественные значения каждого из которых для ФЛ представлены в Табл. 1.

Таблица 1. Критерии оценки платёжеспособности ФЛ

У/о	Критерии оценки	Альтернативные заёмщики кредитов					Норматив
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	
K_1	Текущий и перспективный совокупный чистый доход ($)	280	340	370	310	280	Чем больше, тем лучше
K_2	Объем депозитных вкладов	6	8	5	4	9	[0, 10]
K_3	Обеспечение кредита и его ликвидность	2	5	7	9	8	[0, 10]
K_4	*PTI*	0.3000	0.3467	0.3827	0.3134	0.4286	[0, 0.45]
K_5	*OTI*	0.5333	0.5467	0.5432	0.5373	0.5000	[0, 0.55]
K_6	Платёжеспособность	1.2000	1.1194	1.0800	1.1754	1.0769	Чем больше 1, тем лучше
K_7	Общее материальное положение	7	6	9	8	7	[0, 10]
K_8	Социальная стабильность	10	8	6	8	7	[0, 10]
K_9	Возраст (лет)	28	39	55	64	47	[0, 100]
K_{10}	Кредитная история	5	4	8	9	6	[0, 10]

Полагая интервалы нормативных значений ПП универсальными множествами U_i, построены их нечёткие подмножества, описывающие качественные критерии оценки K_i (i=1÷10) к перечисленным в Табл. 1 соответствующих ПП заёмщиков, например, ВЫСОКИЙ (текущий и перспективный совокупный чистый доход), ДОСТАТОЧНЫЙ (объём депозитных вкладов) и т.д. В качестве универсума выбрано дискретное множество $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$, а для восстановления по нему указанных нечётких множеств в виде: $K_i=\{\mu_{Ki}(a_1)/a_1, \mu_{Ki}(a_2)/a_2, \ldots, \mu_{Ki}(a_5)/a_5\}$, использована Гауссовская функция принадлежности (ФП) вида:

$$\mu_{K_i}(u_i) = \exp\left[-\frac{(u_i-u_0)^2}{\sigma_i^2}\right], u_i \in U_i\ , i = 1 \div 10, \qquad (1)$$

где $u_{i0} \in U_i$ – абсцисса вершины функций, а σ_i^2 –плотность (дисперсия) распределения элементов по *i*-му критерию. Для оценки платёжеспособности ФЛ методом нечёткого вывода за основу выбраны следующие непротиворечивые и логически обоснованные правила, которые отражают причинно-следственные связи между критериями платёжеспособности K_i (i=1÷10), с одной стороны, и степенью кредитоспособности ФЛ, с другой:

e_1: «Если K_5=НИЗКИЙ и K_6=ВЫСОКИЙ и K_7=ВЫСОКОЕ и K_8=ВЫСОКИЙ, то степень кредитоспособности ФЛ является УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ»;

e_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 степень кредитоспособности ФЛ является БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ»;

e_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 степень кредитоспособности ФЛ является ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ»;

e_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 степень кредитоспособности ФЛ является БЕЗУПРЕЧНОЙ»;

e_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 степень кредитоспособности ФЛ является УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ»;

e_6: «Если K_3=НЕПРИЕМЛЕМОЕ и K_6=НЕВЫСОКИЙ и K_7=НЕВЫСОКОЕ и K_{10}=НЕБЛАГОПРИЯТНАЯ, то степень кредитоспособности ФЛ является НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ».

Для выходной лингвистической переменной (ЛП) «*степень кредитоспособности»* соответствующие термы заданы на дискретном множестве J={0, 0.1, 0.2, …., 1} в виде следующих нечётких множеств: S=УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_S(u)=u$; MS=БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{MS}(u)=u^{(1/2)}$; VS=ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{VS}(u)=u^2$; P=БЕЗУПРЕЧНАЯ: $\mu_P(u)$=1, если u=1 и $\mu_P(u)$=0,

если $u<1$; US=НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{US}(u)=1-u$. В результате реализации системы нечёткого вывода установлены оценки платёжеспособности ФЛ: $a_1=0.4073$, $a_2=0.3332$, $a_3=0.4957$; $a_4=0.4961$; $a_5=0.4686$. Обладатель наивысшей оценки имеет самую высокую степень платёжеспособности и, соответственно, является наилучшим претендентом на получение кредита. В данном случае – это a_4 с оценкой 0.4961. Далее – по убыванию.

Полагая K_i ($i=1\div10$), как обладающие одинаковыми степенями важности качественные критерии оценки платёжеспособности, ключевое правило для выбора наилучшего ФЛ по методу *максиминной свёртки* будет иметь вид: $K=K_1\cap K_2\cap\ldots\cap K_{10}$. В этом случае оптимальным считается ФЛ с максимальным значением ФП к нечёткому множеству (НМ) K. Операция пересечения НМ K_i ($i=1\div10$) осуществляется на основании выбора минимального значения для k-го ФЛ, т.е. путём нахождения минимума по формуле $\mu_K(a_k)=\min\{\mu_{Ki}(a_k)\}$. В итоге наиболее платёжеспособное ФЛ определяется из равенства: $\max\{\mu_K(a_k)\}=\max\{0.00280,\ 0.00479,\ 0.00149,\ 0.00986,\ 0.00028\}$. Максимальное значение 0.00986 четвёртой компоненты вектора соответствует выбору ФЛ a_4, что повторяет предыдущий результат относительно наиболее платёжеспособного ФЛ.

С применением критериев K_i ($i=1\div10$) сформулирован, описан и протестирован новый метод для индивидуальной оценки кредитоспособности ФЛ. В качестве предварительной процедуры осуществлена классификация уровней финансовой стабильности, для чего выбраны пять оценочных понятий для характеристики уровня платёжеспособности ФЛ: u_1 – «СЛИШКОМ НЕПРИЕМЛЕМЫЙ», u_2 – «НЕПРИЕМЛЕМЫЙ», u_3 – «МЕНЕЕ ЧЕМ ПРИЕМЛЕМЫЙ», u_4 – «ПРИЕМЛЕМЫЙ» и u_5 – «БОЛЕЕ ЧЕМ ПРИЕМЛЕМЫЙ». С этой целью за основу выбрана следующая нечёткая модель:

e_1: «Если K_5=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_6=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_7=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_8=ПРИЕМЛЕМЫЙ, то Y=УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

e_2: «Если K_2=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_4=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_5=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_6=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_7=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_8=ПРИЕМЛЕМЫЙ, то Y=БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

e_3: «Если K_1=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_2=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_3=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_4=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_5=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_6=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_7=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_8=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_9=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_{10}=ПРИЕМЛЕМЫЙ, то Y=БЕЗУПРЕЧНЫЙ»;

e_4: «Если K_1=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_2=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_3=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_5=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_6=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_7=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_8=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_{10}=ПРИЕМЛЕМЫЙ, то Y=ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

e_5: «Если K_2=НЕПРИЕМЛЕМЫЙ и K_3=НЕПРИЕМЛЕМЫЙ и K_4=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_5=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_6=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_7=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_8=ПРИЕМЛЕМЫЙ и K_9=НЕПРИЕМЛЕМЫЙ, то Y=УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ»;

e_6: «Если K_3=НЕПРИЕМЛЕМЫЙ и K_6=НЕПРИЕМЛЕМЫЙ и K_7=НЕПРИЕМЛЕМЫЙ и K_{10}=НЕПРИЕМЛЕМЫЙ, то Y=НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ».

Выходная лингвистическая переменная Y задана на множестве J={0; 0.1; 0.2; …; 1}, а её термы, как и в предыдущем случае, описаны по средствам НМ: $\mu_S(u)=u$; $\mu_{MS}(u)=u^{(1/2)}$; $\mu_{VS}(u)=u^2$; $\mu_P(u)$=1, если u=1 и $\mu_P(u)$=0, если u<1; $\mu_{US}(u)=1-u$. Фаззификацию термов из левых частей правил осуществлена с помощью функций принадлежности (1), восстанавливающих НМ дискретного универсума {u_1, u_2, u_3, u_4, u_5}, где $u_i=0.2\cdot i$ (i=1÷5), σ_k подбираются исходя из важности критериев оценки. После реализации правил $e_1 \div e_6$ по средствам последовательного применения операций пересечения НМ из левых частей и импликации Лукасевича получены соответствующие нечёткие отношения в виде матриц R_1, R_2, …, R_6. В результате пересечения этих матриц получено функциональное решение, отражающее причинно-следственную связь между ПП и уровнем кредитоспособности ФЛ:

$$R = \left[\begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}4 & 0{,}5 & 0{,}6 & 0{,}7 & 0{,}8 & 0{,}9 & 1 \\ \hline u_1 & 0{,}9972 & 0{,}9028 & 0{,}8028 & 0{,}7028 & 0{,}6028 & 0{,}5028 & 0{,}4028 & 0{,}3028 & 0{,}2028 & 0{,}1028 & 0{,}0028 \\ u_2 & 0{,}9633 & 0{,}9367 & 0{,}8367 & 0{,}7367 & 0{,}6367 & 0{,}5367 & 0{,}4367 & 0{,}3367 & 0{,}2367 & 0{,}1367 & 0{,}0367 \\ u_3 & 0{,}7699 & 0{,}7699 & 0{,}7699 & 0{,}7699 & 0{,}7699 & 0{,}7301 & 0{,}6301 & 0{,}5301 & 0{,}4301 & 0{,}3301 & 0{,}2301 \\ u_4 & 0{,}9633 & 0{,}9633 & 0{,}9633 & 0{,}9633 & 0{,}9633 & 0{,}9633 & 0{,}9633 & 0{,}9633 & 0{,}8926 & 0{,}7926 & 0{,}6926 \\ u_5 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 0{,}9972 & 1 \end{array}\right].$$

Для классификации уровней кредитоспособности применена процедура дефаззификации нечётких выходов применённой модели. В результате установлены точечные оценки нечётких выводов относительно уровней кредитоспособности: для оценочного понятия u_1 (СЛИШКОМ НЕПРИЕМЛЕМЫЙ) – 0.2270; для u_2 (НЕПРИЕМЛЕМЫЙ) –0.2526; для u_3 (МЕНЕЕ ЧЕМ ПРИЕМЛЕМЫЙ) – 0.3871; для u_4 (ПРИЕМЛЕМЫЙ) – 0.4734; для u_5 (БОЛЕЕ ЧЕМ ПРИЕМЛЕМЫЙ) – 0.5014. Итоговая шкала для оценки уровня кредитоспособности ФЛ выглядит так, как это показано на Рис.1.

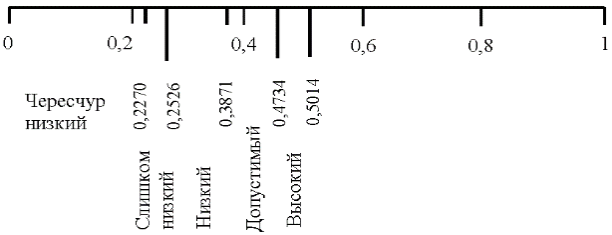

Рис. 1. Шкала градаций уровня кредитоспособности ФЛ

Для оценки ФЛ a_k (k=1÷5), характеризуемых показателями, представленными в Табл. 1, на базе правил $e_1 \div e_6$ применена система нечёткого вывода в нотации пакета MATLAB (см. Рис. 2). В результате получены следующие оценки кредитоспособности ФЛ: для a_1 – 0.356; a_2 – 0.307; a_3 – 0.463; a_4 – 0.5; a_5 – 0.405.

Согласно установленной классификации (Рис. 1) ФЛ a_4 присваивается ВЫСОКИЙ уровень платёжеспособности. Оценки остальным ФЛ даются по убыванию: a_3 (0.462) и a_5 (0.405) – ДОПУСТИМЫЙ уровень платёжеспособности; a_1 (0.356) и a_2 (0.307) – НИЗКИЙ уровень платёжеспособности. В рамках предложенного подхода на основании комплексной обработки доступной количественной и качественной информации о финансовой стабильности потенциальных заёмщиков, применение различных методов оценивания дали схожие результаты на примере пяти ФЛ.

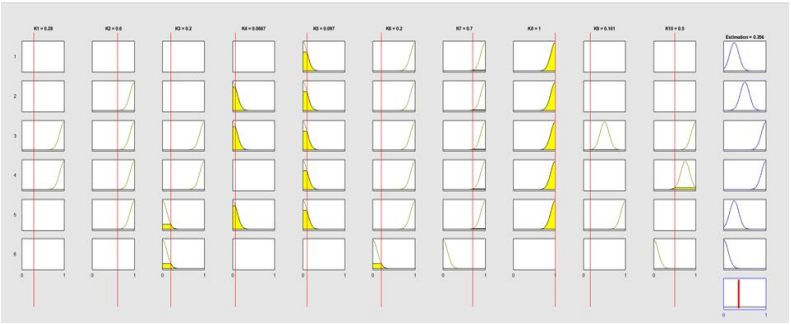

Рис. 2. Интерактивное окно для реализации системы нечёткого вывода относительно оценки кредитоспособности ФЛ (случай альтернативы a_1)

В третьей главе предлагается сбалансированный подход к оценке кредитоспособности ФЛ, основанный на применении трёх методов оценки текущей платёжеспособности, включая метод взвешенного суммирования экспертных оценок платёжеспособности, а также нечётких методов логического вывода и взвешенной *максиминной свёртки*. В частности, КБ рассматривает совокупность n количественных и качественных показателей $X=\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ для оценки кредитоспособности альтернативных ФЛ: $a_1, a_2, \ldots, a_{10}$. На ранней стадии показатели x_i оцениваются m экспертами: каждому эксперту предлагается сформировать ранговую оценку r_{ij} по каждому i-му ПП и нормированное значение этой оценки – α_{ij}, при выполнении условия $\sum_{i=1}^{n} \alpha_{ij} = 1$ ($j=1\div m$). В результате ПП оцениваются на основе двух методов: путём сравнительной качественной оценки ПП – методом простого ранжирования экспертов, и путём количественной оценки параметров ПП – методом задания нормированных значений их весов.

Путём независимого анкетирования 15-ти экспертов определены экспертные оценки по обозначенным выше ПП x_i ($i=1\div 10$). Каждому эксперту предложено расположить ПП по принципу: наиболее важный фактор обозначить цифрой «1», следующий менее важный – цифрой «2» и далее по убыванию порядка

предпочтения. Полученные таким образом оценки сведены в Табл. 2.

Таблица 2. 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	*РТП*	*ОТП*	Коэффициент платёжеспособности	Общее материальное положение	Социальная стабильность	Возраст	Кредитная история
	Обозначение и индексация ПП x_i (i=1÷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

Для установления степени согласованности мнений экспертов на предмет ранговой корреляции приоритетностей ПП применяется коэффициент конкордации Кендалла. В случае, когда n=10 и m=15, значение коэффициента конкордации Кендалла при величине S=14836.5, рассчитанной как $S = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - m(n+1)/2)^2$, где $r_{ij} \in \{1, 2, \ldots, n\}$ – ранг i-го критерия, установленный j-ым экспертом, на основании данных из Табл. 2, будет: $W=(12\cdot S)/[m^2(n^3-n)]=12\cdot 14836.5/[15^2(10^3-10)]=0.799273$. Эта величина заметно превышает ключевой порог согласованности 0.6, что свидетельствует о достаточно сильной согласованности экспертных оценок по 10-балльной системе оценивания относи-

тельно приоритетности ПП x_i (i=1÷10). На основе этих результатов проводятся расчёты для определения и последующей идентификации весов x_i. На каждом шаге итерации определяются групповые оценки ПП по формуле $\alpha_i(t+1)=\sum_{j=1}^{m} w_j(t)\alpha_{ij}$ и числовые показатели, характеризующие компетентности экспертов, на основе равенств:

$$w_j(t)=[1/\eta(t)]\sum_{i=1}^{n}\alpha_i(t)\cdot\alpha_{ij}\ (j=\overline{1,m-1}), w_m(t)=1-\sum_{j=1}^{m-1}w_j(t),\ \sum_{j=1}^{m}w_j(t)=1.$$

где $\eta(t)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\alpha_i(t)\alpha_{ij}$ – нормирующий множитель. При этом, процесс завершается при выполнении $\max\{|\alpha_i(t+1)-\alpha_i(t)|\}\le\varepsilon$, где ε – погрешность вычислений.

В результате, в 3-ем приближении получены значения весов x_i: $\alpha_1(3)$=0.0350; $\alpha_2(3)$=0.0486; $\alpha_3(3)$=0.1032; $\alpha_4(3)$=0.0723; $\alpha_5(3)$=0.1185; $\alpha_6(3)$=0.2447; $\alpha_7(3)$=0.1973; $\alpha_8(3)$=0.1183; $\alpha_9(3)$=0.0239; $\alpha_{10}(3)$= 0.0384.

Чтобы установить взвешенной оценки кредитоспособности ФЛ, использован критерий: $C=100\times[\sum_{i=1}^{10}\alpha_i e_i]\cdot[\max\{\sum_{i=1}^{10}\alpha_i e_i\}]^{-1}$, где $\alpha_i=\alpha_i(3)$ – весовой коэффициент значимости x_i, e_i – консолидированная экспертная оценка x_i по 10-балльной системе оценивания.

Другой группе из m экспертов было предложено оценить по 10-балльной шкале десять ФЛ a_k (k=1÷10) на предмет их текущей платёжеспособности по каждому из ПП x_i (i=1÷10).

По результатам тестирования были получены усреднённые оценки ПП ФЛ a_k (k=1÷10) в соответствии с выражением $avr_{ki}=(1/m)\sum_{j=1}^{m}e_{ij}^{k}$ (k, i=1÷10), где e_{ij}^{k} – оценка j-го эксперта, данная им k-му ФЛ по x_i,. На основе этих оценок и критерия C определены взвешенные оценки кредитоспособности ФЛ, которые сведены в Таблицу 3.

Полагая отрезок U=[0, 10] непрерывным универсумом, построены его нечёткие подмножества, описывающие критерии оценки K_i (i=1÷10) относительно ПП x_i (i=1÷10), например, та-

ких как ВЫСОКИЙ (текущий и перспективный совокупный чистый доход), ДОСТАТОЧНЫЙ (объём депозитных вкладов) и т.д.

Таблица 3. Итоговые взвешенные оценки кредитоспособности ФЛ

ФЛ	Оцениваемые ПП										Итоговая оценка
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	
	Весовые коэффициенты ПП α_i (i=1÷10)										
	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

В общем виде каждый критерий интерпретирован в виде НМ: $K_i=\{\mu_{K1}(u_1)/u_1;\ \mu_{K2}(u_2)/u_2;\ \ldots;\ \mu_{K10}(u_{10})/u_{10}\}$, ($i$=1÷10), где $\mu_{Ki}(u_j)$ (j=1÷10) – значение ФП усреднённой оценки u_j НМ K_i. В качестве ФП выбрана функция $\mu_{Ki}(u_j)=\exp[-(u_j-10)^2/\sigma_i^2]$, $u_j \in U$ (i,j=1÷10), где σ_i^2=16. На основе экспертных оценок, качественные критерии оценки K_i (i=1÷10) описаны по средствам следующих НМ:

- 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=«*степень кредитоспособности*» лингвистической переменной, для оценки текущей платёжеспособности ФЛ за основу были выбраны следующие импликативные правила:

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».

С учётом принятых выше формализмов для правых частей правил, система нечёткого вывода в символьной форме выглядит:

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

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

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: $(x_1=K_1)$ & $(x_2=K_2)$ & … & $(x_9=K_9)$ & $(x_{10}=K_{10})$ $\Rightarrow (y=P)$;

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: $(x_3=\neg K_3)$ & $(x_6=\neg K_6)$ & $(x_7=\neg K_7)$ & $(x_{10}=\neg K_{10})$ $\Rightarrow (y=US)$.

Реализация этих правил в привычной манере дала нечёткие отношения в виде матриц R_1, R_2, …, R_6. В результате их пересечения установлено общее функциональное решение $R=R_1\cap R_2\cap \ldots \cap R_6$, отражающее причинно-следственную связь между x_i и агрегированной оценкой кредитоспособности ФЛ.

$R =$

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
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

Обобщённая оценка платёжеспособности k-го ФЛ (k=1÷10) интерпретируется НМ универсума {0, 0.1, 0.2, …, 1} со значениями ФП из k-ой строки матрицы R. В результате дефаззификации нечётких выводов получены численные оценки уровней кредитоспособности заявленных ФЛ: для a_1 – 0.5251; a_2 – 0.5370; a_3 – 0.5129; a_4 – 0.3976; a_5 – 0.4909; a_6 – 0.4881; a_7 – 0.4841; a_8 – 0.4234; a_9 – 0.4284; a_{10} – 0.4965. Обладатель наибольшей оценки имеет самую высокую степень кредитоспособности и, значит, является наиболее предпочтительным заёмщиком. В данном случае – это ФЛ a_2 с числовой оценкой 0.5370. Далее – по убыванию.

Полагая, что критерии K_i (i=1÷10) обладают равными степенями важности, правило для выбора наилучшего заёмщика по методу максиминной свёртки имеет вид: $K=K_1 \cap K_2 \cap ... \cap K_{10}$. Оптимальная альтернатива находится 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 вектора $\mu_K(a_k)$ склоняет к выбору a_{10}. Далее по убыванию: $a_1 \rightarrow 0.0421$; $a_9 \rightarrow 0.0284$; $a_4 \rightarrow 0.0281$; $a_2 \rightarrow 0.0271$; $a_7 \rightarrow 0.0237$; $a_3 \rightarrow 0.0221$; $a_8 \rightarrow 0.0183$; $a_6 \rightarrow 0.0117$; $a_5 \rightarrow 0.0033$.

Итоговые результаты оценки кредитоспособности заявленных ФЛ a_k (k=1÷10) всеми методами представлены в Табл. 4, откуда видно, что 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 методом максиминной свёртки, полностью контрастируют с остальными результатами, т.к. этот метод не учитывает приоритетность показателей платёжеспособности ФЛ.

Таблица 4. Результаты оценок текущей кредитоспособности ФЛ

ФЛ	Метод взвешенных оценок ПП		Метод нечёткого вывода		Метод максиминной свёртки	
	Оценка	Порядок	Оценка	Порядок	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 дополнение к этим исследованиям в экспертном сообществе проводится обсуждение влияния ПП x_i (i=1÷10) на уровень кредитоспособности ФЛ. В отличие от предыдущего случая экс-

пертам предлагается оценивать степень влияния ПП x_i на значения суммарных индексов кредитоспособности ФЛ по 5-балльной шкале: 5 – ЧЕРЕСЧУР СИЛЬНОЕ; 4 – СУЩЕСТВЕННО СИЛЬНОЕ; 3 – СИЛЬНОЕ; 2 – СЛАБОЕ; 1 – НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ; 0 – ЧЕРЕСЧУР СЛАБОЕ. В Табл. 5 с учётом экспертных оценок влияния x_i представлены 40 сценариев формирования взвешенных индексов кредитоспособности по критерию

$C = 100 \times [\sum_{i=1}^{5} \alpha_i e_i] \cdot [\max\{\sum_{i=1}^{5} \alpha_i e_i\}]^{-1}$, где α_i – установленный ранее вес ПП x_i; e_i – консолидированная экспертная оценка кредитоспособности ФЛ с точки зрения влияния x_i.

Таблица 5. Сценарии формирования индексов кредитоспособности ФЛ

№ сценария	Оцениваемые ПП										Индекс
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	
	Весовые коэффициенты ПП										
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	
	0.0350	0.0486	0.1032	0.0723	0.1185	0.2447	0.1973	0.1183	0.0239	0.0384	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.45	0.34	0.29	0.12	0.09	0.09	0.13	0.40	0.11	0.41	3.88
3	0.17	0.26	0.31	0.40	0.56	0.57	0.45	0.23	0.44	0.50	8.61
…. …. …. …. …. ….											
38	3.46	3.17	2.91	3.67	2.05	2.66	3.23	1.93	2.68	3.79	56.18
39	4.86	4.80	4.88	4.93	4.94	4.95	4.76	4.81	4.76	4.99	97.47
40	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	100

В случае, когда количественные оценки относительного влияния величин x_i на уровень кредитоспособности ФЛ не вызывают сомнения, многофакторную функцию F можно аппроксимировать трёхслойной feedforward нейронной сетью (Рис. 3), индуцирующую на выходе сигналы вида: $z_j = \sum_{k=1}^{r} c_k \varphi[w_{ki} x_{ij}) - \theta_k]$, i=1÷10, j=1÷40, где r – число нейронов в скрытом слое, подбираемого пользователем в процессе симуляции; w_{ki} и c_k – веса входных и выходных связей, соответственно; θ_i – порог k-го нелинейного нейрона из скрытого слоя; $\varphi(\cdot)$ – функция активации нелинейного нейрона, например, сигмоидального типа $\varphi(t)=1/[1+e^{-(t-\theta)}]$.

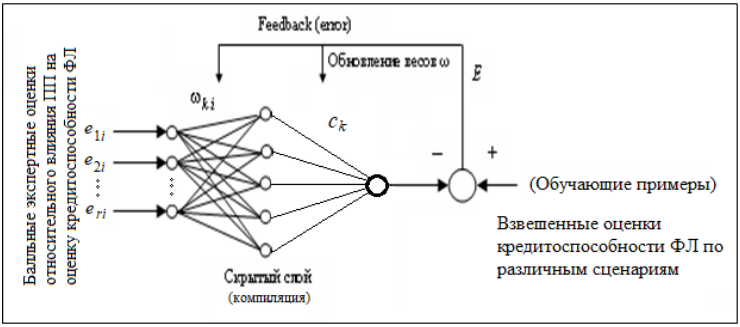

Рис. 3. Трехслойная нейронная сеть

Рассматриваемая задача и её решение выглядят гораздо сложнее, так как в общем случае сама природа ПП x_i (i=1÷10) и определение их относительного веса при суммировании итоговых индексов кредитоспособности ФЛ, остаётся основной проблемой количественного метода оценки. Для многофакторной оценки и ранжирования ФЛ по уровням их платёжеспособности метод нечёткой максиминной свёртки реализуется путём взвешенного пересечения нечётких множеств в терминах K_i (i=1÷10) выглядит как $D = K_1^{\alpha_1} \cap K_2^{\alpha_2} \cap ... \cap K_{10}^{\alpha_{10}}$, где α_i – обобщённые веса ПП x_i (i=1÷10), установленные выше. В итоге, решение относительно кредитоспособности оцениваемых ФЛ интерпретируется из следующего выражения: $\max\{\mu_D(e_j)\}$=max{0.2933; 0.6793; 0.4939; 0.1195; 0.5178; 0.6793; 0.2256; 0.2132; 0.3674; 0.4002}, означающее, что наиболее платёжеспособным является ФЛ a_6 с оценкой 0.6793, следом за ним ФЛ a_2 с такой же оценкой 0.6793 и далее по убыванию: a_5 (0.5178), a_3 (0.4939), a_{10} (0.4002), a_9 (0.3674), a_1 (0.2933), a_7 (0.2256), a_8 (0.2132) и a_4 (0.1195).

Итоговые результаты оценки кредитоспособности ФЛ a_k (k=1÷10) всеми методами представлены в Табл. 6. Порядковые оценки, полученные с применением всех трёх методов, полностью совпадают относительно платёжеспособности *шестого* и *второго* ФЛ. В остальных случаях незначительные и/или существенные различия не является принципиальными, т.к. решение задачи состоит в нахождении наиболее платёжеспособного ФЛ.

Таблица 6. Результаты оценок текущей кредитоспособности ФЛ a_k (k=1÷10)

ФЛ	Метод взвешенных оценок ПП		Нейро-сетевой метод оценивания		Метод взвешенной максиминной свёртки	
	Оценка	Порядок	Оценка	Порядок	Оценка	Порядок
a_1	42.11	10	41.43	10	0.2933	7
a_2	67.31	2	68.06	2	0.6793	2
a_3	56.42	6	59.82	6	0.4939	4
a_4	47.79	7	60.43	5	0.1195	10
a_5	66.64	4	66.38	3	0.5178	3
a_6	72.77	1	82.91	1	0.6793	1
a_7	46.07	8	53.72	8	0.2256	8
a_8	44.89	9	54.45	7	0.2132	9
a_9	66.68	3	65.72	4	0.3674	6
a_{10}	59.10	5	52.33	9	0.4002	5

В четвертой главе рассматривается способ реализации нечёткой логической системы для оценки кредитоспособности ФЛ на базе обобщённой нейро-сетевой модели. Предлагаемая гибридная модель поддерживает идеологию нечёткого логического управления в нейро-сетевом логическом базисе и является ключевым звеном при формировании информационной системы поддержки процесса кредитования ФЛ. Вычисление персональной оценки кредитоспособности ФЛ требует структурную и параметрическую оптимизацию системы нечёкого вывода, оформленную в виде приведённых выше логических правил. Для этого использован редактор MATLAB\ANFIS. С этой целью осуществлена загрузка обучающего множества, составленного из сценариев оценок кредитоспособности сорока гипотетических ФЛ, что обеспечило генерацию нейросетевой структуры (Рис. 4).

После применения супервизорного гибридного метода обучения, представляющего собой комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента, осуществлены структурная и параметрическая оптимизации системы нечёткого вывода, заданной на начальном этапе в виде импликативных правил $e_1 \div e_6$. В результате обучения система сгенерировала 1024 импликативных правила, графический интерфейс для просмотра функционирования которых представлен на Рис. 5.

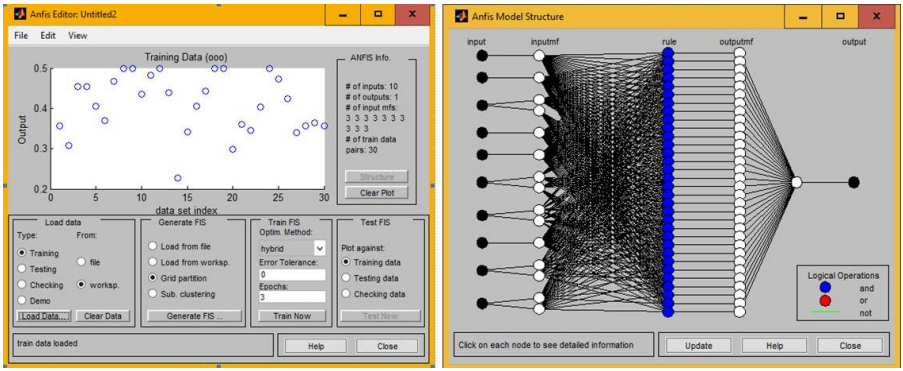

Рис. 4. Генерация системы нечёткого вывода в нейросетевом базисе

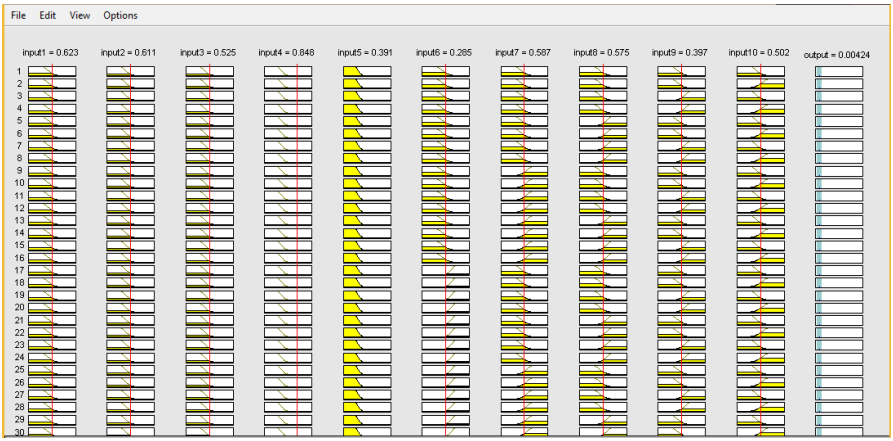

Рис. 5. Графический интерфейс системы нечёткого вывода

Отправляясь от нечёткой парадигмы, для интегральной оценки кредитоспособности ФЛ предлагается информационная система поддержки принятия кредитных решений, комбинирующая в себе как экспертные оценки, так и некоторые нечёткие модели многокритериальной оценки альтернатив. В продолжении этому, предлагается структура аналитического ядра для информационной системы поддержки принятия кредитных решений. Структура аналитического ядра информационной системы, вбирающее в себя описанные выше все наработки относительно оценки кредитоспособности ФЛ, представлена на Рис. 6.

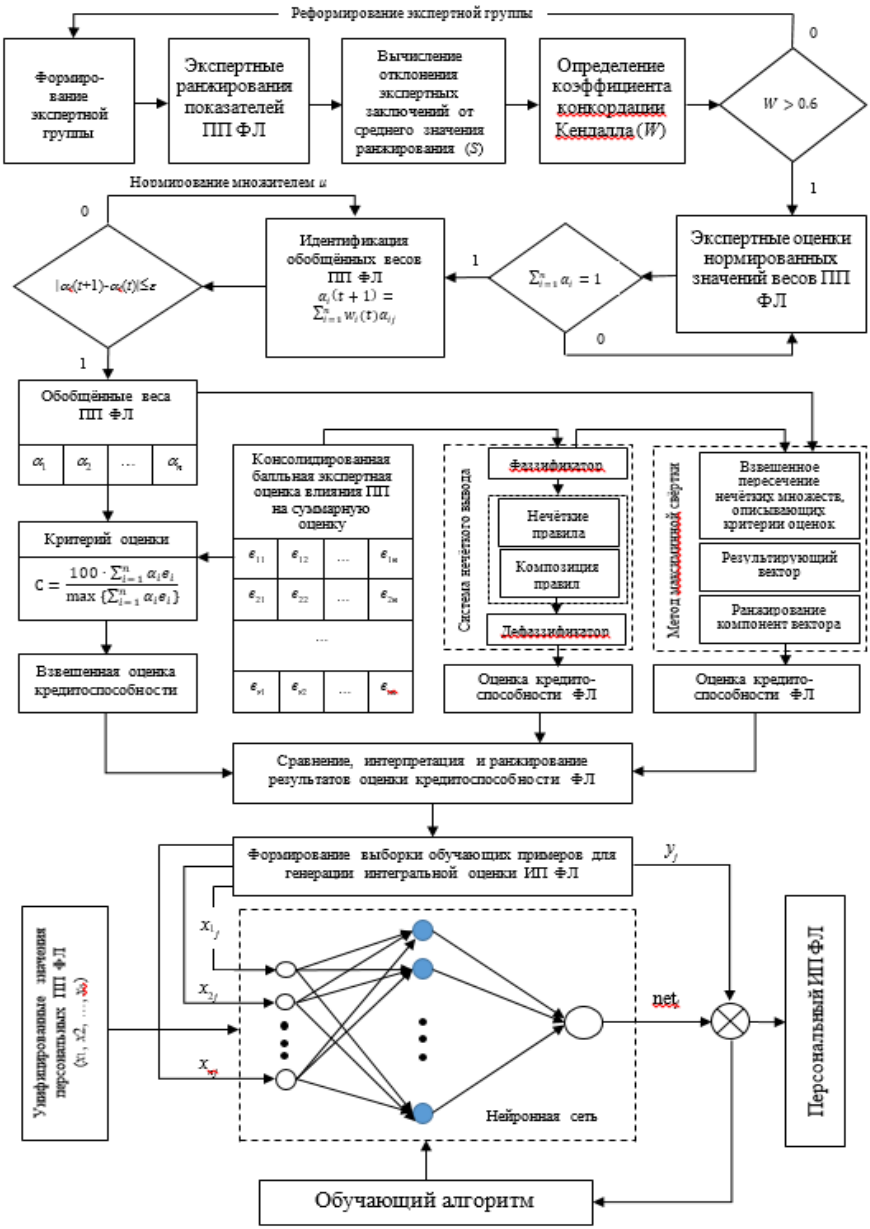

Рис. 6. Структура аналитического ядра для информационной системы поддержки принятия кредитных решений

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные научные результаты, выносимые на защиту, сформулированы в виде следующих утверждений:

- с учётом мирового опыта в области банковского кредитования сформирована система показателей платёжеспособности для многокритериальной оценки кредитоспособности физических лиц, как потенциальных клиентов заёмных средств коммерческого банка;
- разработаны и апробированы методы нечёткого вывода и нечёткой максиминной свёртки для оценки кредитоспособности физических лиц, предусматривающие комплексную обработку доступной информации, включая слабо структурированных признаков финансовой стабильности потенциальных заёмщиков;
- сформулирован и протестирован экспертный подход к вопросу идентификации удельных весов, относительного влияния показателей платёжеспособности физических лиц;
- разработана экспертная система для взвешенной оценки кредитоспособности физических лиц и их ранжирования относительно уровней платёжеспособности;
- осуществлена компиляция экспертных знаний относительно кредитоспособности физических лиц с применением системы нечёткого вывода и нечёткого метода взвешенной максиминной свёртки;
- разработан метод для оценки кредитоспособности физических лиц посредством интеграции экспертных знаний в логическом базисе нейронной сети;
- разработан метод компиляции экспертных знаний относительно кредитоспособности физических лиц с применением гибридной (нейро-нечёткой) системы моделирования;
- сформирована структура аналитического ядра для разработки информационной системы поддержки принятия кредитных решений.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих научных статьях:

1. Алиев, А.А. Анализ платёжеспособности физического лица на основе оценки его информационного профиля из доступных источников интернета // - Баку: Вестник Бакинского Университета, - 2016. №3, - С. 96-104.
2. Рзаев, Р.Р., Алиев, А.А. Оценка кредитоспособности физических и юридических лиц в условиях неопределенности // Материалы X международной научно-практической конференции «Интернет–Образование-Наука» (ИОН-2016), - Винница: - 11-14 октября, - 2016, - С. 2-4.
3. Rzayev, R.R., Aliyev, A.A. Estimation of credit borrowers solvency using fuzzy logic // Journal of Automation and Information Sciences. Begell House, - 2017. Vol. 49, №2, - P. 70-84.
4. Рзаев, Р.Р., Алиев, А.А. Оценка кредитоспособности физического лица на основе нечеткого анализа его платежеспособности // - Москва: Системы и средства информатики, - 2017. Том 27, №3, - С. 202-218.
5. Алиев, А.А. Комплексная оценка кредитоспособности физических лиц на основе нечеткого анализа их показателей платёжеспособности // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika elmi konfransının materialları, - Bakı: - 24-25 oktyabr, - 2017, - S. 16-18.
6. Кравец, О.Я., Алиев, А.А. Информационная поддержка процесса кредитования физических лиц на основе нейро-нечёткой системы моделирования // - Воронеж: Экономика и менеджмент систем управления, - 2017. №4.3(26), - С. 364-372.
7. Алиев, А.А. Оценка текущей кредитоспособности физических лиц на основе экспертных оценок их показателей платежеспособности // - Киев: Математические машины и системы, - 2018. №2, - С. 119-132.
8. Aliyev, A.A. Credit surveillance of an individual in the logical basis of the neural network // Proceedings of the XXIV-th International Open Science Conference “Modern Informatization Problems in Economics and Safety”, - Yelm, WA, USA: - January, - 2019, - P. 9-16.

9. Алиев, А.А. Комбинированный подход к оценке кредитоспособности физических лиц с применением многослойных нейронных сетей // - Баку: Вестник Бакинского Университета, - 2019. №1, - С. 112-122.
10. Rzayev, R.R., Aliyev, A.A. and Kravets O.Ja. Credit rating of natural person by expert knowledge compilation in logic basis of neural networks // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, - 2019. Vol. 537, 042028.
11. Aliyev, A.A. Credit rating of natural person using MATLAB\ANFIS // Материалы III международной научно-практической конференции «Прикладные системы и технологии в информационном обществе», - Киев: - 30 Сентября, - 2019, - С. 197-201.
12. Aliyev, A.A. Multi-factor evaluation of natural person solvency by expert knowledge integration //Journal of Automation and Information Sciences. Begell House, - 2020. Vol.52, №3, P. 65-76.

Личный вклад соискателя в трудах, опубликованных в соавторстве:

[2] Анализ показателей финансовой устойчивости, формирование на их основе критериев оценки кредитоспособности юридических и физических лиц и разработка типовых нечётких моделей для оценки текущей кредитоспособности потенциальных заёмщиков кредитов.

[3] Разработка методики для формирования шкалы градации уровней кредитоспособности ФЛ и нечётких методов оценки, с применением системы нечёткого вывода и максиминной свёртки равнозначимых критериев оценки.

[4] Разработка нечётких моделей для ранжирования ФЛ по уровням их текущей кредитоспособности.

[6] Разработка нейро-сетевой модели для оценки текущей кредитоспособности ФЛ, характеризуемые количественными и качественными показателями платежеспособности.

[10] Разработка экспертной системы для формирования экспертных знаний относительно влияния показателей платёжеспособности на уровни кредитоспособности ФЛ и компиляция этих знаний с применения нейро-сетевых моделей.

Защита диссертации состоится 17 декабря 2021 года в 16^{00} на заседании Диссертационного совета ED 1.20 действующего на базе Института Систем Управления НАНА.

Адрес: ул. Б. Вахабзаде 68, Баку, AZ1141.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Систем Управления НАНА.

Электронная версия диссертации и автореферата размещена на официальном сайте (http://www.isi.az) Института Систем Управления НАНА.

Автореферат разослан по соответствующим адресам 15 ноября 2021 года.

Подписано в печать: 12.11.2021

Формат бумаги: А5

Объём: 37421 знаков

Тираж: 70