

На правах рукописи

Гусева Марина Владимировна

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА  
ОСНОВЕ СИСТЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА,  
МУЛЬТИМНОЖЕСТВ И  
ТЕОРИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

Специальность 05.13.01 –  
«Системный анализ, управление и обработка информации  
(технические системы)»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань 2007

Работа выполнена в  
Рязанском государственном радиотехническом университете

Научный руководитель: кандидат технических наук,  
доцент ДЕМИДОВА Лилия Анатольевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
ЛАРКИН Евгений Васильевич

кандидат технических наук, доцент  
ТЕРЕХИН Александр Николаевич

Ведущая организация: Академия права и управления (г. Рязань)

Защита диссертации состоится 31 мая 2007 года в 12.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГРТУ.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " апреля 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент

В.Н. Пржегорлинский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

Сегодня в России возрастает интерес к использованию информационных технологий в обеспечении процесса принятия решений и стратегического управления. В инвестиционной деятельности применение таких технологий сводится, в частности, к выбору проектов и распределению ресурсов между ними. Так как количество ресурсов ограничено, то возникает задача их распределения оптимальным образом. Предприятия работают в условиях повышенного риска невозврата вложенных средств при выборе альтернатив (например, технических проектов). Использование подобных информационных технологий в деятельности предприятий позволяет повысить эффективность производства.

Существующие методы оценки эффективности инвестиционных проектов базируются в основном на их исследовании по финансово-экономическим показателям. Очень часто эксперты не могут просчитать экономическую эффективность и финансовые показатели в силу неопределенности воздействия на проект внешней среды, невозможности получить количественные оценки некоторых показателей и т.д.

В настоящее время актуальным является решение задачи оценки эффективности проектов на основе новых методик, которые по своему характеру и финансовому исполнению позволяли бы в нынешних условиях более качественно выполнить оценку эффективности инвестиций и принимать оптимальное решение о выборе проектов. При этом необходим учет информации, которой присуща некоторая неопределенность, также следует учитывать субъективность мнения экспертов.

Один из современных методов, используемых в различных задачах принятия решений, основан на применении аппарата теории нечетких множеств (ТНМ) и нечеткой логики. Отказ от традиционных требований точности измерений и применение ТНМ позволяют разрешить возникающие проблемы. Использование ТНМ и понятия «лингвистическая переменная» (ЛП) позволяет адекватно отразить приблизительное словесное описание значений показателей в тех случаях, когда точное описание либо отсутствует, либо является слишком сложным, либо требует больших временных и финансовых затрат.

**Цель диссертационной работы** состоит в разработке эффективных методов и алгоритмов принятия решений на основе систем нечеткого вывода, мультимножеств и генетических алгоритмов (ГА), позволяющих устранить недостатки существующих аналогов, обеспечивая при этом высокую обоснованность принимаемого решения.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов принятия решений, выявить перспективные направления их развития.

2. Исследовать возможность применения аппарата ТНМ, нечеткой логики и мультимножеств для принятия решений.
3. Исследовать возможность применения генетических алгоритмов «тонкой» настройки систем нечеткого вывода для принятия решений.
4. Разработать алгоритм классификации альтернатив на основе систем нечеткого вывода, генетических алгоритмов и теории мультимножеств.
5. Разработать алгоритм упорядочения альтернатив по близости к «идеальному» варианту на основе парных сравнений, нечеткого метода Дельфы и теории мультимножеств.
6. Разработать пакет прикладных программ классификации и упорядочения альтернатив на основе разработанных алгоритмов и методов.

**Методы исследования.** Теоретические исследования выполнены с использованием методов теории нечетких множеств, нечеткой логики, генетических алгоритмов, теории мультимножеств, теории вероятностей, математической статистики, математического, системного анализа, аналитической геометрии, математического и имитационного моделирования, модульного, объектно-ориентированного программирования.

**Научная новизна.** В рамках диссертационной работы были получены следующие результаты:

1. Разработан и исследован метод классификации альтернатив на основе систем нечеткого вывода, генетических алгоритмов и мультимножеств.
2. Разработаны системы нечеткого вывода для предварительной классификации альтернатив на основе алгоритма Сугено.
3. Разработан и исследован генетический алгоритм для «тонкой» настройки индивидуальных систем нечеткого вывода.
4. Разработан алгоритм упорядочения альтернатив по близости к «идеальному» варианту на основе парных сравнений, нечеткого метода Дельфы и теории мультимножеств.
5. Разработано правило завершения процедуры согласования экспертных оценок на основе нечеткого метода Дельфы.

**Практическая ценность работы.** Разработан пакет прикладных программ (ППП) для классификации и упорядочения альтернатив. Применение ППП и нового подхода к задаче выбора альтернатив позволяет:

- обеспечить высокую адекватность принятия решений в условиях неопределенности и неточности исходной информации, в том числе при несовпадающих (противоречивых) оценках экспертов;
- обоснованно использовать формализацию опыта экспертов, который является наиболее достоверной информацией при оценке эффективности.

В конечном итоге, предложенный подход обеспечивает эффективное решение задачи выбора альтернатив в условиях неполной информации и при участии субъективного «человеческого фактора».

**Практическая ценность результатов** диссертации подтверждается актами внедрения. Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается:

- использованием понятий и выводов теории нечетких множеств и нечеткой логики, мультимножеств и теории генетических алгоритмов;
- результатами математического и имитационного моделирования предложенных методов, алгоритмов, систем нечеткого вывода на ПЭВМ;
- разработкой действующих программных средств, подтвержденных свидетельствами об официальной регистрации;
- апробацией предложенных методик для конкретных случаев;
- наличием актов внедрения результатов диссертационной работы.

**На защиту выносятся:**

1. Метод классификации альтернатив на основе систем нечеткого вывода, генетических алгоритмов и теории мультимножеств.
2. Системы нечеткого вывода для предварительной классификации альтернатив на основе алгоритма Сугено.
3. Генетический алгоритм для «тонкой» настройки индивидуальных систем нечеткого вывода.
4. Алгоритм упорядочения альтернатив по близости к «идеальному» варианту на основе парных сравнений, нечеткого метода Дельфы и мультимножеств.
5. Правило завершения процедуры согласования экспертных оценок на основе нечеткого метода Дельфы.
6. ППП для классификации и упорядочения альтернатив на основе разработанных методов и алгоритмов.

**Внедрение результатов.** Результаты работы внедрены и использованы на предприятии ЗАО «ПРО-САМ», в Управлении экономического развития и торговли Рязанской области для решения задач эффективного принятия решений. Опытная эксплуатация подтвердила работоспособность и показала высокие характеристики надежности эффективности разработанного ППП «МОСIP». Разработанные системы нечеткого вывода внедрены в учебный процесс кафедры вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета и используются студентами в курсах «Теория систем и системный анализ» и «Теория экономических информационных систем».

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на следующих конференциях и семинарах:

1. Всероссийский научно-практический семинар «Сети и системы связи», 26 - 27 апреля 2005 г., г. Рязань.

2. III межвузовская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Новые технологии в учебном процессе и производстве», 25 - 29 апреля 2005 г., г. Рязань.

3. 14-я международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций», 6 - 8 декабря 2005 г., г. Рязань.

4. 30-я межвузовская научно-практическая конференция «Информационно-телекоммуникационные технологии», 2006 г., г. Рязань.

5. IV международная научно-техническая конференция «Искусственный интеллект в XXI веке. Решения в условиях неопределенности», ноябрь 2006 г., г. Пенза.

6. Региональная научно-техническая конференция «Проблемы и методы управления экономической безопасностью регионов», 2006 г., г. Коломна.

7. 31-я межвузовская научно-практическая конференция «Информационно-телекоммуникационные технологии», 2007 г., г. Рязань.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 19 печатных работ (в том числе 3 статьи в рецензируемой печати).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы и четырех приложений. Содержит 253 страницы, 77 таблиц, 52 рисунка. Список литературы состоит из 122 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность выбора темы диссертации, формулируются цель и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность основных результатов диссертационной работы.

**В первой главе** «Обоснование и основные подходы к решению задачи принятия решений» рассмотрена задача оценки эффективности альтернатив на примере выбора инвестиционных проектов (ИП) на основе расчета финансово-экономических показателей.

Предложена новая технология решения задачи выбора альтернатив, основанная на применении аппарата ТНМ и нечеткой логики, мультимножеств и ГА. Применение ТНМ позволяет учесть субъективный человеческий фактор и опыт экспертов в процессе выработки и принятия соответствующего решения, а также неполную, неточную информацию.

Сформулированы основные задачи: задача классификации альтернатив, задача упорядочения альтернатив внутри класса на основе систем нечеткого вывода, мультимножеств и ГА.

Сформулированы основные положения по формированию базы правил нечеткого вывода. Предложено для разработки систем нечеткого вывода использовать гауссовские функции принадлежности, отражающие

знания и опыт экспертов. В качестве базового алгоритма предлагается использовать алгоритм нечеткого вывода Сугено.

Рассмотрены основные понятия теории мультимножеств, возможность применения ГА для «тонкой» настройки индивидуальных систем нечеткого вывода.

**Во второй главе** «Генерирование решающих правил классификации альтернатив на основе систем нечеткого вывода, генетического алгоритма и мультимножеств» решаются задачи разработки методов классификации на основе мультимножеств, получения индивидуальных заключений экспертов по предварительной сортировке альтернатив с применением индивидуальных систем нечеткого вывода; предлагается ГА оптимальной настройки индивидуальных систем нечеткого вывода.

Рассмотрена задача классификации альтернатив на примере инвестиционных проектов  $X = \{x_1, \dots, x_k\}$  по множеству критериев  $G = \{G_1, \dots, G_n\}$  на классы «Принять проект к реализации», «Принять проект к реализации при наличии средств», «Отложить рассмотрение проекта», «Отклонить проект». Количество экспертов равно  $m$ .

Перечень критериев формируется заранее и зависит от целей проводимого анализа. Был определен перечень из четырех критериев:  $G_1$  – «конкурентоспособность проекта»;  $G_2$  – «актуальность и новизна проекта»;  $G_3$  – «социально-экономическая значимость проекта для города и области»;  $G_4$  – «финансовый уровень предприятия-заявителя». Выбранный набор критериев оценивания проектов в достаточно полной мере позволяет оценить и предсказать реальную эффективность вложений. Оценка производится по 5-балльной шкале (чем выше балл, тем лучше).

Этапы классификации альтернатив на основе мультимножеств:

1. Определение соответствующих классов для разбиения альтернатив.

2. Предварительная классификация альтернатив на 2 класса в соответствии с индивидуальными системами нечеткого вывода.

3. Выявление решающих правил классификации на основе мультимножеств: определение значимости критериев.

4. Если требуется дальнейшее разбиение на классы, повторяем этапы 2 и 3, иначе - конец алгоритма.

Альтернативы предварительно разбиваются на несколько классов путем прямой классификации. Принадлежность альтернативы  $x_j$  к классу выражается индивидуальным правилом сортировки  $W = \{w_v\}$ , которое является еще одним качественным критерием с соответствующей шкалой значений.

В соответствие каждой альтернативе  $x_j$  ставится мультимножество:

$$C_j = \{k_{C_j}(q_i^1) \cdot q_i^1, \dots, k_{C_j}(q_i^{u_i}) \cdot q_i^{u_i}, \dots, k_{C_j}(q_n^1) \cdot q_n^1, \dots, k_{C_j}(q_n^{u_n}) \cdot q_n^{u_n}, k_{C_j}(w_1) \cdot w_1, \dots, k_{C_j}(w_f) \cdot w_f\} \quad (1)$$

где  $k_{C_j}(q_i^{y_i})$  и  $k_{C_j}(w_v)$  – количество экспертов, давших  $x_j$  оценки  $q_i^{y_i}$ ,  $y_i = \overline{1, u_i}$  и  $w_v$  соответственно. Представление альтернативы  $x_j$  в таком виде - способ выражения индивидуальных правил сортировки:

$$\text{ЕСЛИ } \langle \text{условия} \rangle, \text{ ТО } \langle \text{решение} \rangle \quad (2)$$

Терм  $\langle \text{условия} \rangle$  соответствует комбинациям оценок критериев  $q_i^{y_i}$ , описывающих альтернативу  $x_j$ , а терм  $\langle \text{решение} \rangle$  определяет принадлежность альтернативы  $x_j$  классу  $X_v$ .

Пусть целью классификации является разложение совокупности альтернатив  $x_j \in X = \{x_1, \dots, x_k\}$  на два класса  $X_1$  и  $X_2$ . Совокупность альтернатив  $X = \{x_1, \dots, x_k\}$ , представленных мультимножествами вида (1), порождает семейство первичных решающих правил сортировки. Правила совпадают или похожи, если альтернативы с идентичными или схожими (близкими) значениями по критериям включаются в один класс. Противоречивые правила относят слаборазличимые альтернативы в один класс. Тогда мультимножество, представляющее свой класс альтернатив:

$$X_v = \{k_{X_v}(q_i^1) \cdot q_i^1, \dots, k_{X_v}(q_i^{u_i}) \cdot q_i^{u_i}, \dots, k_{X_v}(q_n^1) \cdot q_n^1, \dots, k_{X_v}(q_n^{u_n}) \cdot q_n^{u_n}, k_{X_v}(w_1) \cdot w_1, k_{X_v}(w_2) \cdot w_2\}$$

можно записать как:  $X_v = \sum_{j \in J_v} C_j$ , где  $J_v$  – подмножество индексов  $j$  для

альтернатив класса  $X_v$ ,  $v=1,2$ ,  $J_1 \cup J_2 = \{1, \dots, k\}$ ,  $J_1 \cap J_2 = \emptyset$ ,

$$X_v = \sum_{i=1}^n Q_{iv} + R_v, \quad Q_{iv} = \sum_{j \in J_v} C_{jq_i}, \quad R_v = \sum_{j \in J_v} C_{jr},$$

$$C_{jq_i} = \{k_{C_j}(q_i^{u_i}) \cdot q_i^{u_i}, \dots, k_{C_j}(q_i^{u_i}) \cdot q_i^{u_i}\}, \quad C_{jr} = \{k_{C_j}(w_1) \cdot w_1, k_{C_j}(w_2) \cdot w_2\}.$$

Далее рассматривается метрическое пространство мультимножеств  $(C, d)$  с метрикой Хемминга, определяемой выражением:

$$d_{1,p} = [m(A \Delta B)]^{1/p}, \quad \text{где } A, B \text{ – мультимножества, } p \text{ – целое число.}$$

Рассмотрим  $\{R_1, R_2\}$  – это наилучшая из всех возможных декомпозиций множества альтернатив  $X = \{x_1, \dots, x_k\}$  на 2 класса.  $d^* = d(R_1, R_2)$  – предельно возможное расстояние в метрическом пространстве мультимножеств  $(C, d)$  между альтернативами, входящими в разные классы. При идеальных предварительных сортировках альтернатив расстояние  $d^*$ :  $d_{1,p} = [k \cdot m]^{1/p}$ . Поиск обобщенного решающего правила многокритериаль-

ной классификации сводится к  $n$  оптимизационным задачам для каждой группы критериев  $Q_i$ :  $d(Q_{i1}, Q_{i2}) \rightarrow \max(d(Q_{i1}, Q_{i2})) = d(Q_{i1}^*, Q_{i2}^*)$ . (3)

В каждой группе критериев  $Q_i$  определяются новые мультимножества  $Q_{i1}^*$  и  $Q_{i2}^*$ , которые находятся на максимально возможном расстоянии в метрическом пространстве мультимножеств  $(C, d)$  и принадлежат разным классам. Мультимножество  $Q_{iv}^*$  ( $v=1,2$ ), относящееся к одному и тому же классу, представляется в виде суммы двух подмножеств  $Q_{iv}^* = Q_{iv}^{*1} + Q_{iv}^{*2}$ . Решение каждой из задач (3) определяет наилучшую бинарную декомпозицию  $(Q_{i1}^*, Q_{i2}^*)$  множества альтернатив  $X$  по  $i$ -й группе критериев.

Пусть  $q_i^*$  – граничное значение критерия, определяющее границу между сгенерированными слагаемыми внутри каждой пары  $Q_{i1}^*$  и  $Q_{i2}^*$ . Комбинации граничных значений критериев  $\{q_i^*\}$  из разных групп критериев  $Q_i$  задают условия отнесения альтернативы  $x_j$  к классу  $X_v$  и образуют возможные обобщенные правила многокритериальной классификации альтернатив вида (2).

Граничные значения критериев  $q_i^*$  ранжируются по убыванию величины расстояния  $d(Q_{i1}^*, Q_{i2}^*)$ . Для построения обобщенных правил используются граничные признаки  $q_i^*$ , занимающие первые места в ранжировке. Чем ближе значение  $d(Q_{i1}^*, Q_{i2}^*)$  к расстоянию  $d^* = d(R_1, R_2)$ , тем точнее будет аппроксимация индивидуальной экспертной сортировки альтернатив. Точность аппроксимации по  $i$ -й группе критериев оценивается выражением  $\rho_i = d(Q_{i1}^*, Q_{i2}^*) / d(R_1, R_2)$ . Итоговое обобщающее правило должно включать граничные значения признаков  $q_i^*$ , имеющие показатель точности, превышающий желаемый пороговый уровень  $\rho_0$ . Величина  $\rho_i$  характеризует относительную важность  $i$ -й группы критериев  $Q_i$  в обобщенном решающем правиле классификации.

При построении решающих правил классификации выбираются такие аппроксимирующие значения признаков  $q_i^*$ , которые будут обеспечивать необходимую точность аппроксимации. Из них формируются обобщенное решающее правило для многокритериальной классификации.

Индивидуальные заключения экспертов по предварительной сортировке альтернатив  $x_j$  могут быть получены с помощью индивидуальных систем нечеткого вывода, которые разрабатываются на основе базы правил нечеткого вывода:

ЕСЛИ «Условие\_1», ТО «Заключение\_1» ( $t_1$ ),

.....

ЕСЛИ «Условие\_ N », ТО «Заключение\_ N » ( $t_N$ ),

где  $t_l$  ( $t_l \in [0, 1]$ ),  $l=1, N$  – весовые коэффициенты правил.

Для принятия решения об отнесении альтернативы к одному из классов разработаны 7 систем нечеткого вывода с входными переменными, соответствующими критериям  $G_1, G_2, G_3, G_4$  на основе алгоритма Сугено

с соответствующей нечеткой базой знаний. Элементы антецедентов лингвистических правил <ЕСЛИ - ТО> связаны логической операцией «И». Выбор алгоритма Сугено объясняется тем, что его применение позволяет значительно сократить время и повысить точность «тонкой» настройки на основе ГА.

Таблица 1 - Нечеткая база знаний

$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	Решение о классификации
oB	oB	oB	oB	Класс 1: Принять к реализации
B	B	oB	oB	Класс 1: Принять к реализации
вC	вC	B	oB	Класс 2: Принять к реализации при наличии средств
C	C	вC	C	Класс 3: Отложить рассмотрение проекта
нC	нC	C	C	Класс 3: Отложить рассмотрение проекта
нC	нC	нC	нC	Класс 3: Отложить рассмотрение проекта
H	H	oH	oH	Класс 4: Отклонить проект
oH	oH	H	H	Класс 4: Отклонить проект
H	H	H	H	Класс 4: Отклонить проект
oH	oH	oH	oH	Класс 4: Отклонить проект

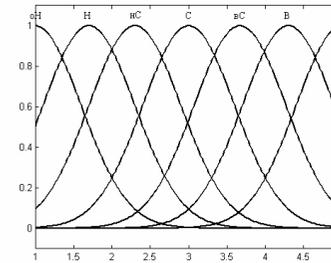


Рисунок 1 - Графики функции принадлежности входных лингвистических переменных

Терм-множества имеют вид: {oH – «очень низкий (-ая)», H – «низкий (-ая)», нC – «ниже среднего (-ей)», «C – «средний (-яя)», вC – «выше среднего (-ей)», B – «высокий (-ая)», oB – «очень высокий (-ая)»}. Для входных ЛП использованы гауссовские функции принадлежности (ФП) (рис. 1):  $y = e^{-(x-b)^2/c^2}$ , заданные на универсальном множестве  $Y=[1, 5]$ .

Выбор гауссовских ФП объясняется наличием только 2 параметров, что позволяет значительно сократить время «тонкой» настройки системы нечеткого вывода на основе ГА. Параметры ФП и весовые коэффициенты настраиваются с помощью ГА (рис. 2) на основе обучающей выборки.

Пусть  $y=F(X, W, B, C)$  – модель, соответствующая системе нечеткого вывода;  $X=(x_1, \dots, x_n)$  – вектор входных переменных;  $W=(w_1, \dots, w_N)$  – вектор весов правил из нечеткой базы знаний,  $B=(b_1, \dots, b_q)$  и  $C=(c_1, \dots, c_q)$  – векторы параметров настройки гауссовских ФП;  $N$  – количество правил в нечеткой базе знаний;  $q$  – общее количество термов.

Обучающая выборка задана в виде  $M$  пар экспериментальных данных:  $(X^l, y^l)$ ,  $l=1, \dots, M$ , где  $X_i=(X_1^l, \dots, x_n^l)$  и  $y^l$  – входной вектор и соответствующее значение выходной переменной  $y$  для  $l$ -й пары «вход-выход». В соответствии с методом наименьших квадратов, задача оптимальной настройки нечеткой модели формулируется следующим образом: найти вектор  $(W, B, C)$ , который удовлетворяет ограничениям:  $w_j \in [\underline{w}_j, \overline{w}_j]$ ,  $b_i \in [\underline{b}_i, \overline{b}_i]$ ,  $c_i \in [\underline{c}_i, \overline{c}_i]$ ,  $j = \overline{1, N}$ ,  $i = \overline{1, q}$  и обеспечивает минимум целевой функции.

$\sum_{l=1}^M [F(X^l, W, B, C) - y^l]^2 \rightarrow \min$ . При этом хромосома имеет вид:

$S = (W, B, C) = (b_{11}, c_{11}, \dots, b_{1l_i}, c_{1l_i}, b_{n1}, c_{n1}, \dots, b_{1l_n}, c_{1l_n}, w_1, \dots, w_N)$ , где  $N$  – количество правил в нечеткой базе знаний,  $l_i$  – количество термов входной переменной  $x_i$ ,  $\sum_{i=1}^n l_i = q$ ,  $q$  – общее количество термов.



Рисунок 2 - Генетический алгоритм для «тонкой» настройки систем нечеткого вывода

Функция соответствия хромосомы имеет вид:

$$FF(S) = - \sum_{l=1}^M [F(X^l, W, B, C) - y^l]^2.$$

При выборе родителей используется принцип: чем больше значение функции соответствия некоторой хромосомы, тем больше вероятность того, что данная хромосома даст потомство. Способ определения родите-

лей основывается на том, что каждой хромосоме  $S_i$  из популяции ставится в соответствие число  $p_i$ , такое что:  $p_i \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^K p_i = 1$ ,

$FF(S_i) > FF(S_j) \Rightarrow p_i > p_j$ ,  $K$  – число хромосом в популяции.

Числа  $p_i$  интерпретируются как вероятности:

$$p_i = \overline{FF}(S_i) / \sum_{j=1}^K \overline{FF}(S_j), \quad \overline{FF}(S_i) = FF(S_i) - \min_{j=1, K} (FF(S_j)).$$

1. Ряд чисел  $p_i$  откладывается на горизонтальной оси.
2. Генерируется случайное число  $z = \text{random}([0, 1])$ .
3. В качестве родителя выбирается хромосома  $S_i$ , соответствующая подинтервалу  $p_i$ , в который попало число  $z$ .
4. Повтор шагов 1 - 3 для определения второй хромосомы родителя.

В результате **скрещивания** двух хромосом-родителей  $S_1$  и  $S_2$  получаются хромосомы-отпрыски  $Ch_1$  и  $Ch_2$  путем обмена генов относительно  $(n+1)$ -й точки скрещивания. Так как множества  $A^l = (a_1^l, \dots, a_n^l)$  термов-оценок входных переменных упорядочены по возрастанию, то введенная операция скрещивания может нарушить этот порядок. Поэтому после обмена генов следует осуществить контроль над тем, чтобы термножества оставались упорядоченными.

Пусть  $w_j^{S_1}$  и  $w_j^{S_2}$  – веса  $j$ -го правила в хромосомах-родителях  $S_1$  и  $S_2$ ;  $w_j^{Ch_1}$  и  $w_j^{Ch_2}$  – веса  $j$ -го правила в хромосомах-отпрысках  $Ch_1$  и  $Ch_2$ ;  $b_{ip}^{S_1}$  и  $b_{ip}^{S_2}$  –  $ip$ -е параметры в хромосомах-родителях  $S_1$  и  $S_2$ ;  $b_{ip}^{Ch_1}$  и  $b_{ip}^{Ch_2}$  –  $ip$ -е параметры в хромосомах-отпрысках  $Ch_1$  и  $Ch_2$ .

Алгоритм операции скрещивания имеет вид:

1. Генерируются случайные числа  $z_i$  числом  $(n+1)$  такие, что  $1 \leq z_i < l_i$ , где  $l_i$  – число термов-оценок входной переменной  $x_i$ ,  $i=1, \dots, n$ ;  $1 \leq z_{n+1} < N$ , где  $N$  – количество правил в нечеткой базе знаний.
2. Обмен генов в соответствии с найденными значениями точек  $z_i$ :

$$b_{ip}^{Ch_1} = \begin{cases} b_{ip}^{S_1}, & p \leq z_i \\ b_{ip}^{S_2}, & p > z_i \end{cases}, \quad b_{ip}^{Ch_2} = \begin{cases} b_{ip}^{S_2}, & p \leq z_i \\ b_{ip}^{S_1}, & p > z_i \end{cases}, \quad i=1, \dots, n, \quad 1 \leq p < l_i;$$

$$w_j^{Ch_1} = \begin{cases} w_j^{S_1}, & j \leq z_{n+1} \\ w_j^{S_2}, & j > z_{n+1} \end{cases}, \quad w_j^{Ch_2} = \begin{cases} w_j^{S_2}, & j \leq z_{n+1} \\ w_j^{S_1}, & j > z_{n+1} \end{cases}, \quad 1 \leq j < N.$$

3. Контроль за порядком термов:

$(b_{i\zeta} > b_{i\eta}) \wedge (\zeta < \eta) \Rightarrow b_{i\zeta} \leftrightarrow b_{i\eta}, c_{i\zeta} \leftrightarrow c_{i\eta}, 1 \leq \zeta, \eta \leq l_i, i=1, \dots, n$ , где  $\leftrightarrow$  – знак обмена.

Каждый элемент вектора  $S$  может подвергнуться **мутации** с вероятностью  $p_m$ . Пусть  $Mu(s)$  – мутация элемента  $S$ , тогда:

$$Mu(w_j) = \text{random}([\underline{w}_j, \overline{w}_j]), \quad j = \overline{1, N}; \quad Mu(b_{ip}) = \text{random}([\underline{x}_i, \overline{x}_i]),$$

$Mu(c_{ip}) = random([\underline{c}_i, \bar{c}_i])$ , где  $\underline{w}_j, \bar{w}_j$  – нижняя и верхняя границы интервала возможных значений весов правил,  $[\underline{w}_j, \bar{w}_j] \subset [0, 1]$ ;  $[\underline{c}_i, \bar{c}_i]$  – интервал возможных значений коэффициента концентрации ФП термов-оценок входной переменной  $x_i$ ,  $i = 1, n$ ,  $[\underline{c}_i, \bar{c}_i] \in (0, +\infty)$ ;  $random([\underline{\xi}_j, \bar{\xi}_j])$  – операция нахождения равномерно распределенного на интервале  $[\underline{\xi}_j, \bar{\xi}_j]$  случайного числа.

Алгоритм мутации имеет вид:

1. Для каждого элемента  $s \in S$  генерируется случайное число  $z = random([0, 1])$ . Если  $z > p_m$ , то мутация не производится, иначе переходим к следующему шагу.
2. Мутация элемента  $s \in S$  по указанным выше формулам.
3. Контроль над упорядоченностью термов.

Начальные решения (элементы хромосомы  $S$ ) задаются как:  $w_j^0 = random([\underline{w}_j, \bar{w}_j])$ ,  $b_i^0 = random([\underline{x}_i, \bar{x}_i])$ ,  $c_i^0 = random([\underline{c}_i, \bar{c}_i])$ ,  $j = 1, \dots, N$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Классификация альтернатив на основе результатов независимой предварительной сортировки, выполненной 7 экспертами для 15 альтернатив по 4 критериям, показала высокую объективность и адекватность принимаемых решений.

Для принятия решения об отнесении альтернативы к одному из классов была использована система нечеткого вывода с входными переменными, соответствующими критериям  $G_1, G_2, G_3, G_4$ , на основе алгоритма Сугено с базой знаний на основе алгоритма Сугено (табл. 1). Для выходной лингвистической переменной использованы ФП типа константы, заданные на универсальном множестве  $V = [1, 4]$ , с параметрами 1, 2, 3, 4.

Система нечеткого вывода была предварительно «настроена» на основе обучающей выборки с помощью ГА и в дальнейшем использовалась всеми экспертами.

Классификация альтернатив на примере ИП выполнялась в два этапа. На первом этапе было необходимо разбить все проекты на два класса: «Принять проект к реализации» и «Отклонить проект». Поэтому проекты, отнесенные на основе системы нечеткого вывода к классам «Принять проект к реализации» и «Принять проект к реализации при наличии средств», группировались в класс «Принять проект к реализации», а проекты, отнесенные к классам «Отложить рассмотрение проекта» и «Отклонить проект» группировались в класс «Отклонить проект». В таблице 2 приведен результат первого этапа классификации. При этом множество аппроксимирующих признаков  $q_i^*$ , упорядоченное по величине расстояния  $d(Q_{i1}^*, Q_{i2}^*)$ , имеет вид:  $\{q_3^4; q_3^5; q_2^5; q_4^5; q_1^4; q_1^5\}$ , то есть наиболее важ-

ным для отбора проекта к реализации (классы «Принять проект к реализации» и «Принять проект к реализации при наличии средств») является критерий  $G_3$ , а следующими по важности – критерии  $G_2, G_4, G_1$ .

Решающие правила имеют вид:

1. Если значение оценки по критерию  $G_3$  равно 4 или 5, следует «Принять проект к реализации» при показателе точности аппроксимации 0,870.
2. Если значение оценки по критерию  $G_3$  равно 4 или 5, значение оценки по критерию  $G_2$  равно 5, следует «Принять проект к реализации» при показателе точности аппроксимации 0,792.
3. Если значение оценки по критерию  $G_3$  равно 4 или 5, значение оценки по критерию  $G_2$  равно 5, значение оценки по критерию  $G_4$  равно 5, следует «Принять проект к реализации» при показателе точности аппроксимации 0,740.
4. Если значение оценки по критерию  $G_3$  равно 4 или 5, значение оценки по критерию  $G_2$  равно 5, значение оценки по критерию  $G_4$  равно 5, значение оценки по критерию  $G_1$  равно 4 или 5, следует «Принять проект к реализации» при показателе точности аппроксимации 0,584.

Таблица 2 - Классы «Принять проект к реализации» и «Отклонить проект»

№	Критерии																класс					
	$q_1^1$	$q_1^2$	$q_1^3$	$q_1^4$	$q_1^5$	$q_2^1$	$q_2^2$	$q_2^3$	$q_2^4$	$q_2^5$	$q_3^1$	$q_3^2$	$q_3^3$	$q_3^4$	$q_3^5$	$q_4^1$		$q_4^2$	$q_4^3$	$q_4^4$	$q_4^5$	$r_1/r_2$
1 класс																						
$A_1$	0	0	0	5	2	0	0	0	2	5	0	0	0	6	1	0	0	0	1	6	7/0	
$A_3$	0	0	0	6	1	0	0	0	3	4	0	0	0	2	5	0	0	0	4	3	7/0	
$A_6$	0	1	0	4	2	0	1	0	4	2	0	1	0	2	4	0	1	2	2	2	5/2	
$A_8$	0	0	5	1	1	0	0	1	4	2	0	0	0	6	1	0	0	1	1	5	7/0	
$A_{11}$	0	0	1	1	5	0	0	1	1	5	0	0	0	1	6	0	0	0	3	4	7/0	
$A_{13}$	0	0	1	4	2	0	0	2	0	5	0	0	0	6	1	0	0	0	2	5	7/0	
2 класс																						
$A_2$	5	0	1	1	0	4	0	2	1	0	0	4	2	1	0	4	0	1	2	0	1/6	
$A_4$	2	3	1	1	0	0	4	2	1	0	1	2	3	1	0	0	3	0	4	0	1/6	
$A_5$	0	1	2	0	4	3	0	1	3	0	3	1	1	1	1	0	0	3	1	3	3/4	
$A_7$	0	4	0	3	0	0	0	2	5	0	4	0	2	1	0	1	4	0	2	0	0/7	
$A_9$	1	3	2	1	0	0	4	0	1	2	1	3	2	1	0	0	4	0	2	1	1/6	
$A_{10}$	0	1	2	3	1	3	0	1	3	0	3	0	2	2	0	0	5	0	1	1	2/5	
$A_{12}$	4	0	1	2	0	0	0	6	0	1	4	0	2	1	0	4	0	1	2	0	1/6	
$A_{14}$	2	3	1	1	0	0	4	2	1	0	0	0	3	4	0	0	1	2	4	0	0/7	
$A_{15}$	0	2	0	1	4	0	0	1	6	0	0	0	2	1	4	0	3	1	1	2	3/4	
$X_1$	0	1	7	21	13	0	1	4	14	23	0	1	0	23	18	0	1	3	13	25	40/2	
$X_2$	14	17	10	13	9	10	12	17	21	3	16	10	19	13	5	9	20	8	19	7	12/51	
$d_1$	45				61				67				57				77					
$\rho$	0,584				0,792				0,870				0,740									

В формировании правил 1 - 4 участвовали все 4 критерия, то есть для всех критериев существуют аппроксимирующие значения оценок. Точные решающие правила отсутствуют, а наилучшую аппроксимацию исходного разбиения на два класса обеспечивают правила 3 и 4. При этом только проект  $A_9$ , отнесенный ранее к классу «Отклонить проект», ошибочно относится в результате аппроксимации к классу «Принять проект к реализации».

В качестве решающего правила следует принять правило 3, так как результаты аппроксимации по правилам 3 и 4 совпадают.

**В третьей главе** «Упорядочение альтернатив на основе теории нечетких множеств, нечеткого метода Дельфы и мультимножеств» решается задача упорядочения альтернатив по эффективности для одного класса.

При многокритериальном упорядочении:

1. Каждый эксперт, в соответствии со схемой Беллмана-Заде выполняет многокритериальный анализ альтернатив и вычисляет интегральный критерий как нечеткую свертку частных критериев. Оценка альтернативы по отдельным критериям, а также оценка коэффициентов относительной важности самих критериев осуществляется на основе парных сравнений по шкале Саати.

2. Для согласования индивидуальных оценок экспертами применяется нечеткий метод Дельфы. Согласование заканчивается либо когда оценки экспертов сойдутся к достаточно узкому интервалу, либо когда хотя бы один эксперт выступит против дальнейшего согласования.

3. Если в процессе согласования индивидуальные оценки экспертов сошлись к достаточно узкому интервалу, то для нахождения окончательного решения вновь применяется схема Беллмана-Заде. Если в процессе согласования оценок экспертов хотя бы один эксперт выступает против дальнейшего согласования, то применяется подход, основанный на теории мультимножеств и позволяющий найти наилучшее решение даже при противоречивых данных.

Сначала выполняется оценивание альтернатив экспертами по схеме **Беллмана-Заде**. Критерий  $G_i$  можно представить в виде нечеткого множества  $\tilde{G}_i$  на универсальном множестве альтернатив  $X$ :

$\tilde{G}_i = \{\mu_{G_i}(x_1)/x_1, \dots, \mu_{G_i}(x_k)/x_k\}$ , где  $\mu_{G_i}(x_j)$  – степень принадлежности  $x_j$  нечеткому множеству  $\tilde{G}_i$ . Для построения  $\tilde{G}_i$  формируются матрицы парных сравнений вариантов по каждому критерию  $A=[a_{ij}]$ ,  $a_{ij}$  – уровень преимущества элемента  $x_i$  над  $x_j$ , ( $i, j=1, \dots, k$ ), определяемый по девятибалльной шкале Саати: 1 – *отсутствует преимущество*  $x_i$  над  $x_j$ ; ...; 9 – *абсолютное преимущество*  $x_i$  над  $x_j$ .

При согласованных мнениях экспертов матрица парных сравнений является: диагональной, обратно симметричной, транзитивной.

Степень принадлежности элемента  $x_j$  нечеткому множеству определяется как  $\mu(x_j) = 1 / \sum_{i=1}^k a_{ji}$ .

Нечеткое решение  $\tilde{D}$  при равновесных критериях имеет вид:

$$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \dots \cap \tilde{G}_n = \{\min_{i=1,n} \mu_{G_i}(x_1)/x_1, \dots, \min_{i=1,n} \mu_{G_i}(x_k)/x_k\} \quad (4)$$

Нечеткое решение при неравновесных критериях имеет вид:

$$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \dots \cap \tilde{G}_n = \{\min_{i=1,n} (\mu_{G_i}(x_1))^{\alpha_i} / x_1, \dots, \min_{i=1,n} (\mu_{G_i}(x_k))^{\alpha_i} / x_k\} \quad (5)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент относительной важности критерия  $G_i$ , определяющий концентрацию нечеткого множества  $\tilde{G}_i$  в соответствии с мерой важности критерия  $G_i$ , ( $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1$ ).

В силу субъективности индивидуальных оценок, эксперты могут дать различные, в том числе и противоречащие друг другу оценки. Для согласования групповой оценки экспертов применяется **нечеткий метод Дельфы** с использованием усредненной ФП и определением по ней самого лучшего и самого худшего уровней, использованием вычисления расстояния на основе разности абсцисс ФП. Пусть каждый  $r$ -й эксперт ( $r=1, \dots, m$ ), в соответствии с формулами (4) или (5), решил задачу многокритериального анализа и упорядочил элементы множества  $X$  по критериям из множества  $G$ , то есть выполнил ранжировку альтернатив.

$$\tilde{D}_r = \{d_r(x_1)/x_1, \dots, d_r(x_k)/x_k\}, \text{ где } d_r(x_j) = \min_{i=1,n} (\mu_{G_i}(x_j)) \quad (j=1, \dots, k) \text{ при}$$

равновесных критериях,  $d_r(x_j) = \min_{i=1,n} (\mu_{G_i}(x_j))^{\alpha_i} \quad (j=1, \dots, k)$  при неравновесных критериях.

Для каждого  $r$ -го эксперта строится индивидуальная «обобщенная» матрица парных сравнений  $B_r=[b_{ij,r}]$  по всем критериям:  $b_{ij} = d_r(x_i)/d_r(x_j)$ , ( $i, j=1, k$ ). Затем вычисляется:

$$s_{ij} = \sqrt[m]{\prod_{r=1}^m (b_{ij,r})^{\beta_r}}, \text{ где } m \text{ – количество экспертов, } b_{ij,r} \text{ – «обобщенная»}$$

оценка преимущества  $i$ -ой альтернативы над  $j$ -ой ( $i, j=1, \dots, k$ ) для  $r$ -го эксперта,  $\beta_r$  – коэффициенты относительной важности экспертов.

Индивидуальные матрицы парных сравнений экспертов  $B_r$  преобразуются с учетом коэффициентов относительной важности экспертов  $\beta_r$  к виду:  $B_{\beta_r} = [(b_{i,j})^{\beta_r}]$ .

Каждый элемент матрицы  $S$  делится на ее максимальный элемент  $M$ , и определяется нечеткое отношение сравнения альтернатив:

$$R = \bigcup_{(x_i, x_j) \in X \times X} \mu_R(x_i, x_j) / (x_i, x_j), \quad R = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha R_\alpha, \quad R_\alpha = \{(x_i, x_j) \mid \mu_R(x_i, x_j) \geq \alpha\}.$$

Если на некотором  $\alpha$ -уровне, то есть при  $S_{ij} > M * \alpha$  ( $i, j=1, \dots, k$ ) какой-либо  $r$ -й эксперт дает оценку  $b_{ij,r}$ , для которой  $(b_{ij,r})^\beta < S_{ij}$ , он должен обосновать эту оценку.

Правило завершения процедуры согласования может иметь вид:

$$(b_{ij,r})^\beta > s_{ij} - \gamma, \quad \text{где } \gamma - \text{балл, определяющий допустимые отклонения}$$

оценки эксперта от усредненного.

Окончательное нечеткое решение (*min*-решение) задачи многокритериального анализа альтернатив группой экспертов имеет вид:

$$\tilde{D} = \tilde{D}_1 \cap \dots \cap \tilde{D}_r = \{ \min_{r=1,m} d_r(x_1) / x_1, \dots, \min_{r=1,m} d_r(x_k) / x_k \}$$

Если эксперты не согласны выполнить новое оценивание альтернатив, а желаемый уровень согласованности оценок экспертов не достигнут, следует применить методику упорядочения альтернатив по критериям, основанную на **теории мультимножеств**, которая позволяет оптимальным образом упорядочить альтернативы по близости к «идеальному» («антиидеальному») решению даже при наличии полностью противоречивых оценок экспертов.

Пусть по каждому  $i$ -му критерию ( $i=1, \dots, n$ ) экспертами было дано  $u_i$  различных количественных оценок  $g_{j,i,r}$ , которые обозначим через  $q_i^{y_i}$ ,  $u_i=1, \dots, y_i$ .

Для каждой альтернативы  $x_j$  ( $j=1, \dots, k$ ) на множестве критериев  $G = \{G_1, \dots, G_n\}$  формируем мультимножество вида:

$$C_j = \{ k_{C_j}(q_1^1) \bullet q_1^1, \dots, k_{C_j}(q_1^{u_1}) \bullet q_1^{u_1}, \dots, k_{C_j}(q_n^1) \bullet q_n^1, \dots, k_{C_j}(q_n^{u_n}) \bullet q_n^{u_n} \}.$$

Наилучшей и наихудшей альтернативе соответствуют мультимножества:

$$C_{max} = \{ m \bullet q_1^1, 0, \dots, 0, m \bullet q_2^1, 0, \dots, 0, m \bullet q_n^1, 0, \dots, 0 \},$$

$$C_{min} = \{ 0, \dots, 0, m \bullet q_1^{u_1}, 0, \dots, 0, m \bullet q_2^{u_2}, 0, \dots, 0, m \bullet q_n^{u_n} \},$$

которые являются идеальным и антиидеальным решениями.

Задача многокритериального упорядочивания альтернатив сводится к упорядочению мультимножеств. Представим альтернативы как точки некоторого метрического пространства мультимножеств  $(C, d)$  с метрикой

$$\text{Хемминга: } d_1 = m(\Delta B) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \sum_{y_i=1}^{u_i} |k_A(q_i^{y_i}) - k_B(q_i^{y_i})|, \quad (6)$$

где  $w_i > 0$  – коэффициенты относительной важности  $i$ -го критерия.

Сравним альтернативы по их близости к идеальному решению  $C_{max}$ . Будем считать, что  $x_i$  лучше  $x_j$  ( $x_i > x_j$ ), если  $d_1(C_{max}, C_i) < d_1(C_{max}, C_j)$  (7)

Упорядочим все альтернативы по величине их расстояния от идеального решения. Если для некоторых альтернатив  $d_1(C_{max}, C_i) = d_1(C_{max}, C_j)$ , то  $x_i$  и  $x_j$  будут или эквивалентными или несравнимыми. Таким образом, полученное ранжирование может оказаться не строгим.

Так как каждая альтернатива оценивается  $m$  экспертами по  $n$  критериям, то  $\sum_{y_i=1}^{u_i} k_{C_i}(q_i^{y_i}) = n$ ,  $\sum_{i=1}^n \sum_{y_i=1}^{u_i} k_{C_i}(q_i^{y_i}) = m \cdot n$ , следовательно,

$$\sum_{y_i=2}^{u_i} k_{C_i}(q_i^{y_i}) = n - k_{C_i}(q_i^{y_i}). \quad (8)$$

Используя формулу (6), условие равноценности оценок по каждому критерию и учитывая равенство (8), запишем выражение для расстояния от идеального решения до мультимножества в виде:

$$d_1(C_{max}, C_i) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \sum_{y_i=1}^{u_i} |k_{C_{max}}(q_i^{y_i}) - k_{C_i}(q_i^{y_i})| = 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot |m - k_{C_i}(q_i^1)| \quad (9)$$

Тогда условие (7) приобретает вид:  $x_i$  лучше  $x_j$  ( $x_i > x_j$ ), если  $\sum_{i=1}^n w_i \cdot k_{C_i}(q_i^1) > \sum_{i=1}^n w_i \cdot k_{C_j}(q_i^1)$ .

Таким образом, задача многокритериального упорядочения альтернатив сводится к сравнению взвешенных сумм первых (наилучших) оценок альтернатив по всем критериям  $G_i$  ( $i=1, \dots, n$ ):  $H_{C_i}^1 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot k_{C_i}(q_i^1)$ . Лучшей будет та альтернатива  $x_i$ , для которой сумма  $H_{C_i}^1$  будет наибольшей. Для упорядочения альтернатив внутри группы эквивалентных или несравнимых альтернатив, имеющих одинаковые суммы  $H_{C_i}^1$ , следует вычислить для каждого мультимножества  $C_i$ ,  $t=1, \dots, r$  в соответствующей группе взвешенную сумму  $H_{C_i}^p = \sum_{i=1}^n w_i \cdot k_{C_i}(q_i^2)$ , где  $p=2, 3, \dots$  всех вторых, третьих и т.д. оценок по всем критериям  $G_i$  и упорядочить альтернативы внутри каждой группы от лучшей к худшей по величинам  $H_{C_i}^p$  сумм вторых, третьих и т.д. оценок. Этот процесс повторяется до полного упорядочения всех мультимножеств  $G_j$  ( $j=1, \dots, k$ ).

При выставлении оценок альтернативам по отдельным критериям методом парных сравнений Саати важность критериев учитывается при формировании нечетких решений по критериям. В этом случае при про-

ведении расчетов принимаем все коэффициенты  $w_i$  равными 1. Тогда формула (9) принимает вид:

$$d_1(C_{max}, C_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{y_i=1}^{u_i} |k_{C_{max}}(q_i^{y_i}) - k_{C_i}(q_i^{y_i})| = 2 \sum_{i=1}^n |m - k_{C_i}(q_i^1)|$$

**В четвертой главе** «Программная реализация подкомплексов программ упорядочения и классификации альтернатив в среде MATLAB 7.0» разработаны программные средства, позволяющие проводить комплексную оценку эффективности альтернатив, в том числе и ИП. ППП «Упорядочение и классификация инвестиционных проектов на основе мультимножеств» («Multiset Ordering and Classification of Investment Projects» – МОСIP) предназначен для комплексного многокритериального анализа альтернатив группой экспертов; принятия решения о классификации на основе мультимножеств и индивидуальных систем нечеткого вывода, настроенных с помощью ГА; принятия решения об упорядочении альтернатив на основе парных сравнений по шкале Саати, нечеткого метода Дельфы и мультимножеств. ППП может оказаться полезным для специалистов, занимающихся инвестиционной деятельностью, финансовых аналитиков и топ-менеджеров предприятий и организаций. ППП защищен авторским правом (2 свидетельства о регистрации подкомплексов программ для ЭВМ в ОФАП, 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ в ФС по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам).

ППП состоит из двух относительно самостоятельных подкомплексов программ: **MULTISET CLASSIFICATION**; **MULTISET ORDERING**.

Подкомплекс **MULTISET CLASSIFICATION** реализует классификацию альтернатив на основе мультимножеств и индивидуальных систем нечеткого вывода, настроенных с помощью ГА. Подкомплекс **MULTISET ORDERING** реализует упорядочение альтернатив на основе парных сравнений по шкале Саати, нечеткого метода Дельфы и мультимножеств.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные выводы и результаты:

1. Проведен системный анализ традиционного подхода к решению задач принятия решений. Систематизированы требования и рекомендации по выбору альтернатив, рассмотрены этапы реализации инвестиций, методики минимизации рисков при выполнении ИП.

2. Предложен новый подход к решению задачи выбора альтернатив, основанный на применении аппарата ТНМ, ГА и мультимножеств.

3. Предложено для решения задачи многокритериальной классификации альтернатив использовать подход теории мультимножеств, позво-

ляющий получить обоснованные и объективные результаты классификации в виде обобщающих решающих правил классификации на основе различных, в том числе и противоречивых, экспертных оценок.

4. Разработаны 7 систем нечеткого вывода, реализующие различные варианты индивидуальной классификации альтернатив на 4 класса.

5. Предложено для «тонкой» настройки систем нечеткого вывода – параметров ФП, входных ЛП и весовых коэффициентов правил – использовать ГА. Даны рекомендации по выбору коэффициентов мутации и скрещивания. Определен вид хромосомы и целевой функции для выполнения «тонкой» настройки системы нечеткого вывода.

6. Разработан метод классификации альтернатив на основе мультимножеств. Определен способ формирования генерирующих обобщающих правил классификации альтернатив. Указан способ вычисления показателя точности аппроксимации решающего правила.

7. Показано, что упорядочение альтернатив по их близости к «идеальному» варианту или по удаленности от «антиидеального» варианта в метрическом пространстве мультимножеств позволяет получить как строгое, так и нестрогое ранжирование альтернатив при равновесных или неравновесных критериях.

8. Для согласования индивидуальных экспертных оценок предложено использовать нечеткий метод Дельфы, с помощью которого удастся выполнить полное или частичное согласование индивидуальных экспертных оценок.

9. Указаны варианты завершения согласования экспертных оценок на основе нечеткого метода Дельфы: завершение при достижении полного согласования экспертных оценок; завершение при достижении заранее заданных условий прерывания процедуры частичного согласования нечетким методом Дельфы; завершение в случае отказа хотя бы одного из экспертов от продолжения процедуры согласования экспертных оценок. Даны рекомендации по формулированию условий завершения процедуры частичного согласования нечетким методом Дельфы.

10. Показано, что применение теории мультимножеств позволяет выполнить анализ альтернатив, используя новую методику преобразования исходной информации, не приводящую к потере и искажению данных.

### ПУБЛИКАЦИИ ПО ОСНОВНЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Гусева М.В. Подкомплекс программ упорядочения и классификации инвестиционных проектов // Информационно-телекоммуникационные технологии: Материалы 31-й межвузовской научно-практической конференции. – Рязань: Рязанское высшее военное командное училище связи. – 2007. – С. 134 - 137.

2. Гусева М.В. Обзор методов и алгоритмов систем поддержки принятия решений // Математическое и программное обеспечение информационных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. – М.: Горячая линия - Телеком. – 2007. – С. 38 - 43.
3. Гусева М.В., Демидова Л.А. Нечеткий многокритериальный анализ альтернатив на основе схемы Беллмана-Заде и мультимножеств // Инновации в науке и образовании. – М.: 2006. №4 (15). – С. 5.
4. Гусева М.В., Демидова Л.А. Классификация инвестиционных проектов на основе систем нечеткого вывода, мультимножеств и генетических алгоритмов//Инновации в науке и образовании.–М.:2006. №12(27).–С. 12.
5. Гусева М.В., Демидова Л.А. Генерирование решающих правил классификации инвестиционных проектов на основе систем нечеткого вывода и мультимножеств // Системы управления и информационные технологии. – Воронеж: 2006. №4 (26). – С. 46 - 53.
6. Гусева М.В., Демидова Л.А. Классификация инвестиционных проектов на основе систем нечеткого вывода и мультимножеств // Вестник РГРТА. – Рязань: 2006. Вып. 19. – С. 157 - 166.
7. Гусева М.В., Демидова Л.А. Многокритериальная классификация инвестиционных проектов на основе систем нечеткого вывода и мультимножеств // Научно-техническая информация. Информационные процессы и системы. – М.: 2006. №12. – С. 16 – 20.
8. Гусева М.В., Демидова Л.А., Пылькин А.Н. Методы и алгоритмы системы поддержки принятия решений в многокритериальной среде на основе схемы Беллмана-Заде и теории мультимножеств // Математическое и программное обеспечение информационных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. – М.: Горячая линия - Телеком. – 2006. – С. 8 - 15.
9. Гусева М.В., Демидова Л.А. Многокритериальный анализ инвестиционных проектов на основе мультимножеств и систем нечеткого вывода // РГРТА. – Рязань. – 2006. – 14 с.: 1 ил. – Рус. Деп. в ВИМИ, № ДО 2025126 от 30.10.06.
10. Гусева М.В., Демидова Л.А. Нечеткий многокритериальный анализ альтернатив на основе схемы Беллмана-Заде и теории мультимножеств// Проблемы и методы управления экономической безопасностью регионов: материалы региональной научно-технической конференции. – Коломна: Коломенский государственный педагогический институт.–2006.–С. 79-83.
11. Гусева М.В., Демидова Л.А. Многокритериальная классификация инвестиционных проектов на основе противоречивых данных// Информационно-телекоммуникационные технологии: Материалы 30-й межвузовской научно-практической конференции. – Рязань: Рязанское высшее военное командное училище связи. – 2006. – С. 161-163.

12. Гусева М.В., Демидова Л.А. Разработка систем нечеткого вывода для классификации инвестиционных проектов//Искусственный интеллект в XXI веке. Решения в условиях неопределенности: материалы IV Международной научно-технической конференции. – Пенза. – 2006. – С. 124 – 127.
13. Гусева М.В., Пылькин А.Н. Структура и программные средства системы поддержки инвестиционных решений // Математическое и программное обеспечение / Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. – Рязань: Рязан. госуд. радиотехн. акад. – 2005. – С 14 - 20.
14. Гусева М.В., Пылькин А.Н. Методы и алгоритмы системы поддержки принятия решений в многокритериальной среде // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 14-й Международной научно-технической конференции. – Рязань: РГРТА. – 2005. – С. 157 - 160.
15. Гусева М.В., Пылькин А.Н. Структура и программные средства системы поддержки инвестиционных решений // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы III межвузовской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. - Рязань: Рязан. ин-т МГОУ. – 2005 – С. 38 - 40.
16. Гусева М.В., Пылькин А.Н. Структура и программные средства системы поддержки принятия инвестиционных решений//Сети и системы связи: Материалы всероссийского научно-практического семинара. – Рязань: Рязанское высшее военное командное училище связи.–2005.–С. 48-50.
17. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в Отраслевом фонде алгоритмов и программ №5976 от 12.04.2006, Россия. Нечеткий многокритериальный анализ альтернатив на основе схемы Беллмана-Заде и мультимножеств / Гусева М.В., Демидова Л.А.
18. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в Отраслевом фонде алгоритмов и программ №7449 от 27.12.2006, Россия. Классификация инвестиционных проектов на основе систем нечеткого вывода, мультимножеств и генетических алгоритмов / Гусева М.В., Демидова Л.А.
19. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ФС по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам №2007611203 от 21.03.2007, Россия. Многокритериальный анализ объектов на основе нечеткой логики и мультимножеств (FuzzyLogicMultisetAnalysis) / Гусева М.В., Демидова Л.А.

Гусева Марина Владимировна  
**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**  
**НА ОСНОВЕ СИСТЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА,**  
**МУЛЬТИМНОЖЕСТВ И**  
**ТЕОРИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать . Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.

Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Бесплатно.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.