

На правах рукописи

Грунина Галина Сергеевна

**РЕШЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ В
УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА
АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

Специальность 05.13.01- Управление в технических системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



МОСКВА - 1998

Работа выполнена на кафедре “Системы автоматического управления” Московского государственного технического университета им.Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Деменков Н.П.

Официальные оппоненты - доктор физ. -мат. наук
Карпенко А.П.

кандидат технических наук
Соболев О.С.

Ведущая организация - РИНКЦЭ при Министерстве общего и
профессионального образования
Российской Федерации

состоится “ 20 ” мая 1998 г. в
учрежденном совете К 053151 в
техническом университете им. Н.Э.
Бауманская, 5.

1558512

храниться в библиотеке МГТУ им.

июль 1998 г.



Яковлев А.В.



1558512

Грунина Г.С. Решение много

Общая характеристика работы

Принципиальной отличительной особенностью

современной интеллектуальной системы является наличие динамической экспертной системы (ДЭС), оперирующей с базой знаний и способной принимать решения на основе неполной, нечеткой и противоречивой информации. При этом база знаний ДЭС должна сочетать описание в виде строгих математических формул с информацией экспертов, а также, соответственно, математические методы поиска решения с нестрогими эвристическими методами, причем вес того или иного компонента определяется возможностью адекватного описания предметной области и способом отыскания решения.

Поэтому развитие методов принятия решений в сложной обстановке на основании неполной информации, объединяющих строгий математический аппарат с экспертными процедурами является актуальной задачей.

В настоящей работе решаются задачи многокритериальной оптимизации, относящиеся к классу задач анализа решений по набору показателей.

Будем называть задачу анализа решений по набору показателей с нечетко выраженными критериями и альтернативами неформализованной задачей оптимизации.

Наилучшим способом решения задач многокритериальной оптимизации является получение и максимизация функции полезности рассматриваемых альтернатив.

Существующие в настоящее время методы получения функции полезности не позволяют решать задачи указанного класса, если нечеткая информация не может быть формализована при помощи вероятностных распределений.

Применение метода анализа иерархий (МАИ), являющегося простым и наглядным, требует дополнительных исследований, т.к. не доказано, что

НА ДОМ
НЕ ВЗЫМАЕТСЯ

М Г Т У
им. Н. Э. Суворова
БИБЛИОТЕКА

1558512

полученное решение является функцией полезности рассматриваемых альтернатив.

В работе предлагается рассматривать функцию полезности как функцию принадлежности глобальной цели решения задачи на множестве нечетко выраженных альтернатив.

При такой постановке необходимо доказать, что с помощью МАИ можно получить функцию полезности в случае, если элементы иерархии рассматриваются как нечеткие множества.

Предлагаемый подход позволяет решать задачи по принятию решений большого круга таких технических задач многокритериальной оптимизации, в которых требуется формализация качественной информации на количественных шкалах физических величин, а именно: построение и оценка нечетких моделей технологических и технических объектов, а также широкого ряда областей, таких как, политика, образование, экономика, экология, медицина, социология, бизнес и т.д..

Цель работы: заключается в решении многокритериальной задачи оптимизации в условиях неопределенности на основании метода анализа иерархий и теории нечетких множеств, при этом требуется получить функцию полезности в виде нечеткого описания глобальной цели решения задачи. В соответствии с поставленной целью основными задачами работы являются:

1) доказательство основной теоремы МАИ через теорию нечетких множеств, т.е. доказательство возможности применения МАИ для решения задач, в которых иерархия представлена в виде совокупности нечетких множеств;

2) разработка методик и программного обеспечения для решения поставленных задач;

3) использование методики и программного обеспечения для разработки и оценки модели НЛР для разработки НЛР для позиционирования оптической головки привода CD- ROM;

4) демонстрация методики и программного обеспечения для решения задачи оценки эффективности научно-исследовательских работ.

Методы исследования: Теоретические исследования при решении поставленной задачи базируются на теории многокритериальной оптимизации, системном анализе и теории нечетких множеств.

Новизна работы: заключается в доказательстве возможности решения неформализованной задачи многокритериальной оптимизации при помощи метода анализа иерархий и теории нечетких множеств. При этом:

1) Разработана методика решения неформализованной задачи оптимизации на основе метода анализа иерархий и теории нечетких множеств с получением функции полезности как субъективной меры лица принимающего решения (ЛПР);

2) Доказана возможность применения указанного подхода для решения плохоформализуемых технических задач многокритериальной оптимизации, требующих строгой формализации;

В работе решены две неформализованные задачи оптимизации: разработка модели нечеткого логического регулятора и оценка эффективности научно-исследовательских работ (НИР) и, при этом, получены следующие результаты:

3) Разработана методика разработки и оценки модели нечеткого логического регулятора (НЛР);

4) Предложен НЛР для позиционирования оптической головки привода CD- ROM.

5) Разработана методика оценки эффективности НИР;

Практическая ценность полученных результатов заключается в следующем:

1) Разработано и апробировано универсальное программное обеспечение в среде Matlab под Windows, позволяющее решать неформализованные задачи многокритериальной оптимизации

2) Разработано и апробировано универсальное программное

обеспечение в среде Matlab под Windows для разработки и оценки модели НЛР , а ,также, программное обеспечение , позволяющее реализовать НЛР с любыми по структуре лингвистическими правилами управления;

3) На основе предложенной методики и программного обеспечения разработан НЛР для позиционирования оптической головки привода CD-ROM.

4) С помощью предложенной методики и программного обеспечения проведены конкурсы НИР на факультете “Информатика и системы управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1997 и в 1998 году , а также

5) Проведена оценка эффективности НИР, принадлежащих различным группам в Республиканском исследовательском научно-консультативном центре экспертизы при Министерстве общего и профессионального образования Российской Федерации.

Апробация работы: основные результаты работы докладывались и обсуждались на межвузовской научно-технической конференции “ Микроэлектроника и информатика -96 ” (МГИЭТ (ТУ) г. Зеленоград 1996 г.); на втором международном симпозиуме “ Интеллектуальные системы - 96 ” (г. Санкт-Петербург, 1996 г.); на 33 научной конференции РУДН “ Проблемы теории и практики в инженерных исследованиях” (г. Москва, 1997 г.).

Публикации: По теме диссертации опубликовано 4 статьи и 3 тезисов докладов, выполнено 2 отчета по НИР общим объемом 2.5 печатных листа.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений, в которых представлены два акта о внедрении результатов диссертации и описание структуры разработанного программного обеспечения.

Объем работы без списка литературы и приложений составляет 147 страниц машинописного текста, включая 4 таблицы и 25 рисунков.

Содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность работы, цель и задачи исследований. Показана научная новизна диссертации, дается ее краткая характеристика и приведены основные научные результаты, которые выносятся на защиту.

Первая глава посвящена постановке задачи решения многокритериальной задачи оптимизации в условиях неопределенности при помощи метода анализа иерархий и теории нечетких множеств.

При этом под неформализованной многокритериальной задачей оптимизации в работе понимается задача с нечетко выраженными критериями и альтернативами.

Наилучшим способом решения задач многокритериальной оптимизации, за исключением тривиального случая, когда в допустимом множестве существует некоторая точка одновременно максимизирующая все критерии, является получение и максимизация функции полезности рассматриваемых альтернатив:

$$\max \{ U(z_1, z_2, \dots, z_k) \}, \quad (1)$$

$$\text{где } z_i = f_i(x), i = 1 \dots k, x \in S, \quad (2)$$

z - критериальный вектор, S - множество допустимых решений.

Задача (1) нелинейная, но это не главная трудность подхода. Самое сложное то, что для многих задач невозможно получить некоторое математическое описание функции полезности.

Многокритериальные задачи оптимизации можно разделить на две группы: анализ решений по набору показателей и многокритериальная оптимизация (многокритериальное математическое программирование). Анализ решений по набору показателей применяется в ситуациях с небольшим числом альтернатив в условиях неопределенности. Многокритериальная оптимизация чаще применяется при решении детерминированных задач.

В работе рассматриваются задачи в которых отношения

предпочтения заданы четко, поэтому методы решения задач с нечеткими отношениями предпочтения не приводятся.

Задача анализа решений по набору показателей решается при помощи теории полезности. Наиболее распространенным методом этой группы является метод аддитивной функции полезности.

При решении сложных неформализованных задач принятия решений на основании теории полезности требуется оценить многомерное распределение вероятностей, что, порой, является неразрешимой задачей.

В данном случае необходим метод, позволяющий формализовать нечеткую информацию на основании субъективных измерений специалистов-экспертов в области решаемой задачи.

Таким методом является метод анализа иерархий (МАИ) - метод решения многокритериальных задач в сложной обстановке. Он состоит в иерархической декомпозиции проблемы на простые составляющие части и в дальнейшей обработке последовательности суждений ЛПР по парным сравнениям.

Однако решение, полученное данным методом, не может считаться решением задачи (1), т.е. полученное ранжирование не может рассматриваться как функция полезности. Кроме того, технические задачи, требующие формализации качественных характеристик физических величин, не могут решаться методом анализа иерархий в его классической постановке.

Функция полезности может рассматриваться как нечеткое описание глобальной цели решения задачи с нечетко выраженными альтернативами, если нормировать к единице значения этой функции. Т.е. функция полезности может рассчитываться как функция принадлежности глобальной цели на множестве альтернатив, причем, в настоящей работе, она рассматривается не как вероятностная, а как нечеткая величина, которая формализуется на основании субъективных измерений ЛПР.

В этом случае многокритериальную задачу оптимизации можно

представить в виде иерархической декомпозиции, где элементами второго уровня является множество критериев, а элементами третьего уровня - множество альтернатив. При этом элементы иерархии являются нечеткими множествами.

Для решения поставленной задачи необходимо доказать основную теорему метода через теорию нечетких множеств.

Такое утверждение дает возможность решать при помощи данного подхода сложные технические задачи, требующие формализации качественных понятий физических величин на множествах количественных шкал этих величин.

Во второй главе решается поставленная задача.

Метод анализа иерархий является косвенным методом для определения функции принадлежности нечетких множеств.

Для получения функции принадлежности нечеткого множества, формализующего некоторое качественное понятие необходимо попарно сравнить количественные значения универсального множества по степени их соответствия этому качественному понятию.

Результаты сравнений представляются в виде диагональной квадратной матрицы попарных сравнений, которая в общем случае несогласована:

$$A^l = \{ a_{ij}^l \}, \quad (3)$$

где a_{ij}^l - оценка i -го элемента по сравнению с j -м по степени их соответствия l -му понятию.

Вектор приоритетов рассчитывается как нормированный собственный вектор матрицы, соответствующий ее максимальному собственному значению:

$$A * \omega = \lambda_{\max} * \omega \quad (4)$$

ω - собственный вектор матрицы A , $\lambda_{\max}$ - ее максимальное собственное значение. Вектор приоритетов, деленный на свое максимальное значение, является функцией принадлежности нечеткого

множества, характеризующего l -тое понятие.

Основной особенностью метода является возможность строгой математической оценки согласованности суждений экспертов. Полученное отношение согласованности должно быть порядка 10% или менее, чтобы быть приемлемым.

Основной задачей МАИ является нахождение вектора приоритетов альтернатив, т.е. элементов последнего уровня L_h по отношению к глобальной цели, т.е. к элементу первого уровня b .

Доказана теорема для решения данной задачи, при этом иерархия является совокупностью различных нечетких множеств, определяющихся на различных универсальных множествах. На каждом уровне имеются различные четкие упорядоченные множества, которые состоят из элементов, являющихся нечеткими (качественными) и определяются каждый своей функцией принадлежности. Элементы каждого уровня являются нечеткими подмножествами четкого упорядоченного множества и определяются именно в этом смысле.

Пусть иерархия является совокупностью уровней $L_n, n=1 \dots h$.

Распишем элементы трех уровней иерархии:

Уровень $S_{n-1}: L_{n-1}: l^1_{n-1} \quad l^2_{n-1} \quad l^3_{n-1} \dots l^{m(n-1)}_{n-1}$

Уровень $S_n: L_n: l^1_n \quad l^2_n \quad l^3_n \dots l^{m(n)}_n$

Уровень $S_{n+1}: L_{n+1}: l^1_{n+1} \quad l^2_{n+1} \quad l^3_{n+1} \dots l^{m(n+1)}_{n+1}$.

Связь соседних уровней иерархии определяется матрицей собственных векторов, т.е. матрицей приоритетов B .

$$B_{n+1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} l^1_n & l^2_n & l^3_n & \dots & l^{m(n)}_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} l^1_{n+1} \\ l^2_{n+1} \\ l^3_{n+1} \\ \vdots \\ l^{m(n+1)}_{n+1} \end{matrix} & \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \dots & \omega_{1m(n)} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \dots & \omega_{2m(n)} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \dots & \omega_{3m(n)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{m(n+1)1} & \omega_{m(n+1)2} & \omega_{m(n+1)3} & \dots & \omega_{m(n+1)m(n)} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

где B_{n+1} - матрица собственных векторов уровня L_{n+1} , $m(n+1)$ - число

элементов уровня $n+1$, $m(n)$ - число элементов уровня n .

Функция принадлежности нечеткого множества являющегося элементом l_{n+1} :

$$\mu_{l_{n+1}}(L_n) = [\omega_{11} \quad \omega_{12} \quad \omega_{13} \quad . \quad . \quad . \quad \omega_{1m(n)}]^T \quad (6)$$

- функция принадлежности 1-го элемента $n+1$ уровня, определенная на базовом множестве уровня L_n (строка матрицы).

Функция принадлежности нечеткого множества являющегося элементом l_n

$$\mu_{l_n}(L_{n+1}) = [\omega_{11} \quad \omega_{21} \quad \omega_{31} \quad . \quad . \quad . \quad \omega_{m(n+1)1}]^T \quad (7)$$

- функция принадлежности 1-го элемента n -го уровня, определенная на базовом множестве уровня L_{n+1} (столбец).

Задача анализа иерархий сводится к нахождению $\mu_{l_1}(L_{n+1})$, т.е. к нахождению функции принадлежности нечеткого множества элемента 1-го уровня иерархии, определяемого на базовом множестве уровня $n+1$. Считается, что уровень L_1 состоит из одного элемента и в иерархии $n+1$ уровней.

Необходимо найти отношение между нечетким множеством l_1 верхнего уровня и нечеткими множествами, принадлежащими уровню L_{n+1} :

$$R(L_{n+1}, L_1): L_{n+1} \circ L_1 \rightarrow [0,1] \quad (8)$$

B_{n+1} есть матрица нечетких отношений нечетких множеств уровней L_n и L_{n+1} .

$$B_{n+1} = R(L_{n+1}, L_n) \quad (9)$$

Функция принадлежности $\mu_{l_1}(L_{n+1})$ определяется как композиция нечетких отношений следующим образом:

$$R(L_{n+1}) = \mu_{l_1}(L_{n+1}) = R(L_{n+1}, L_n) \circ \mu_{l_1}(L_n) \quad (10)$$

Иначе эта композиция записывается следующим образом:

$$\mu_{l_1}(L_{n+1}) = \bigcup_{i=1}^{m_n} \mu_{l_{n+1}(j)}(L_n) \bigcap_{i=1}^{m_n} \mu_{l_1}(L_n) \quad (11)$$

$i = 1 \dots m_n$ - количество элементов n -го уровня, $j = 1 \dots m_{n+1}$ - количество элементов $n+1$ -го уровня.

Т. к. набор функций принадлежности элементов уровня L_{n+1} на множестве уровня L_n является строками матрицы B_{n+1} , эта запись для более общего случая эквивалентна следующей доказанной теореме :

Теорема: Пусть H - полная иерархия с наибольшим элементом (элементом первого уровня, являющимся глобальной целью решения задачи) b и h уровнями. При этом, элементы иерархии являются нечеткими подмножествами четких упорядоченных множеств, и уровни иерархии являются универсальными множествами нечетких подмножеств верхних и нижних уровней. Пусть B_k - матрица функций принадлежности L_{k-1} уровня, определяемых на универсальном множестве элементов L_k уровня ($k = 3 \dots h$). Если $\mu_{l(p-1)}(L_p)$ - функция принадлежности нечеткого множества l_{p-1} уровня L_{p-1} , определяемая на универсальном множестве уровня L_p , то функция принадлежности $\mu_{l(p-1)}(L_q)$ ($p < q$) элемента l_{p-1} , определяемая на универсальном множестве уровня L_q , определяется следующим образом:

$$\mu_{l(p-1)}(L_q) = B_q * B_{q-1} * \dots * B_{p+1} * \mu_{l(p-1)}(L_p). \quad (13)$$

Данная теорема доказывает справедливость решения МАИ многокритериальных задач с нечетко выраженными альтернативами и критериями с получением функции полезности. При этом функция полезности рассматривается как функция принадлежности глобальной цели на множестве альтернатив.

В третьей главе решается задача разработки модели нечеткого логического регулятора, т.е. задача формализации всех качественных понятий, задействованных в процессе переменных с учетом оценки модели НЛР. Разработаны методика и универсальное программное обеспечение для достижения этой цели.

НЛР предназначен для управления сложными техническими объектами, под которыми понимаются объекты, у которых основная часть информации, необходимая для построения модели является качественной, т.е. нечеткой или нечеткой является информации об управлении этим объектом, причем такая информация обычно существует в виде правил, выраженных на качественном языке естественных понятий и называемых лингвистическими правилами управления (ЛПУ).

Лингвистические правила управления зачастую бывают противоречивыми, а при выработке управляющего воздействия необходимо учитывать все множество правил и, соответственно, различные параметры и факторы, влияющие на процесс управления с различной степенью. Поэтому задача разработки НЛР и получения всех функций принадлежности рассматривается как многокритериальная задача оптимизации в условиях неопределенности.

Задача представлена в виде иерархической структуры элементами которой являются влияющие на процесс входные лингвистические переменные, лингвистические правила управления, в которых задействованы эти переменные, и качественные значения этих лингвистических переменных (рис. 1).

В качестве импликации используется операция минимума, если правило формулируется в виде если -то, и операция максимума, если используется правило если -иначе. В качестве правила вывода используется композиционное правило, при этом композиция рассчитывается как максимумная.

Для выбора четкого значения функции управления применяется метод весов, т.е. метод по которому в качестве единственного значения для управления выбирается значение, имеющее максимальную функцию принадлежности.

Разработанная методика позволяет оценить значимость входных ЛП,

важность и достоверность ЛПУ, поэтому разработанный НЛР вырабатывает управляющее воздействие с учетом различных параметров и действует адекватно текущей ситуации.

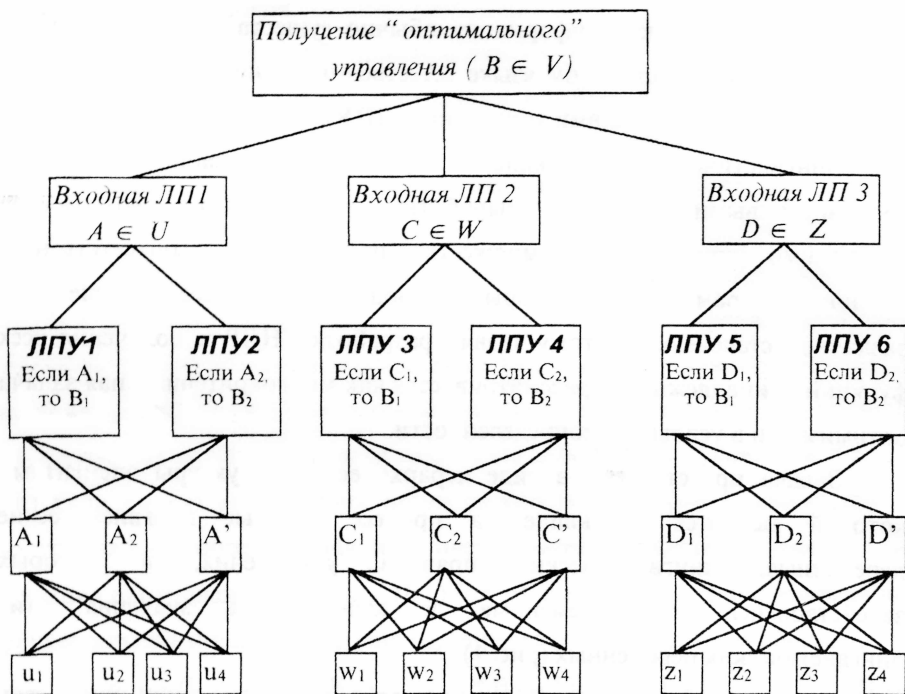


Рис. 1.

Методика проверена при разработке модели НЛР для позиционирования оптической головки привода CD-ROM.

Информация на компакт-диске записывается в виде спиральной дорожки питов. Они сканируются лазерным лучом в ходе воспроизведения. Сканирование начинается с внутренней части диска. В течении воспроизведения, скорость вращения диска уменьшается в 2.5 раза, чтобы поддерживать постоянную линейную скорость.

Задачей системы управления является переход считывающего луча лазера к произвольному информационному участку диска по команде

операционной системы и поддержание и следование луча на требуемой спиральной информационной дорожке диска. Система управления накопителем состоит из четырех взаимосвязанных подсистем управления: 1) СУ сервоприводом шпиндельного двигателя, 2) системы позиционирования оптической головки, 3) системы автотрегинга, 4) системы автофокусировки.

Серьезным недостатком существующих систем управления является необходимость использовать весьма грубую процедуру поиска начала информационного блока, основываясь на информации из таблицы переходов, являющейся трудноформализуемой структурой.

Для более точного регулирования положения оптической головки в работе предлагается использовать НЛР, что позволяет снизить затраты времени на поиск информации и использовать одну и ту же процедуру управления для накопителей с различной плотностью записи.

Моделирование системы позиционирования оптической головки с использованием НЛР для двухскоростного привода показало увеличение средней скорости доступа к данным на 30%, т.е. НЛР, спроектированный при помощи данной методики оптимизирует один из критериев качества управляемой системы, в частности быстродействие.

Четвертая глава посвящена разработке методики для решения задачи оценки эффективности НИР как в случае однотипных работ, так и в случае принадлежности работ к различным группам.

В первом случае методика используется для оценки эффективности однотипных НИР, проводимых в ВУЗах, для которых можно выделить критерии, имеющие одинаковую степень значимости (важности) с точки зрения всех оцениваемых работ.

При этом выделяются следующие группы критериев: учебно-исследовательский эффект; общенаучный эффект; экономический эффект.

Эти критерии являются сложными и разбиваются еще на один уровень простых критериев для оценки представленных работ.

Если на конкурс представлено большое количество работ, то они разбиваются на кластеры согласно направлениям. В этом случае кластеры сравниваются между собой по каждому из использованных в работе 14 критериев, а затем работы внутри каждого кластера. Для проведения конкурса экспертам выдаются листы экспертного опроса, в которых эксперт заполняет таблицы, строками которой являются вопросы для попарного сравнения работ, а столбцами девятибалльная вербальная шкала относительной важности.

Методика апробирована при проведении конкурсов НИР на факультете “ Информатика и системы управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1997 и в 1998 году. При этом, работы, получившие первые места и выдвинутые на конкурс МГТУ и на нем получили высокие оценки, что подтверждает объективность предложенной методики.

Во втором случае методика используется для оценки работ, принадлежащих различным группам, т.е. для оценки таких работ, для которых невозможно выделить критерии имеющие равную степень значимости. Оценка таких работ проводится по отдельности по единому численному показателю. Расчет единого показателя ведется, исходя из соотнесения показателей, характеризующих цель постановки исследовательского процесса или реализации научно-технического проекта и показателей, характеризующих способы, предлагаемые для достижения заявленной цели.

Для численных оценок обобщенных целей и способов проводится их декомпозиция сначала на подразделы, а затем в каждом подразделе на составляющие. Показатели, т.е. составляющие целей и способов сравниваются с прототипом по новизне решения, широте использования и глубине воздействия.

Методика проверена при определении эффективности работы “Проектирование регулируемого электропривода переменного тока” в Информационно-аналитическом центре сопровождения научных

исследований высшей школы в Республиканском исследовательском научно-консультативном центре экспертизы при Министерстве общего и профессионального образования Российской Федерации. Полученные результаты оказались более объективными и правдоподобными, чем результаты, полученные при помощи старой методики, основанной на расчете среднего-арифметического оценок по всем критериям.

Основные результаты

- 1) Решена задача многокритериальной оптимизации с нечетко выраженными критериями и альтернативами на основании метода анализа иерархий и теории нечетких множеств, в которой полученная функция полезности рассматривается как функция принадлежности глобальной цели на множестве альтернатив. При этом доказаны:
 - а) основная теорема метода анализа иерархий через теорию нечетких множеств для случая, когда задача представлена в виде иерархической декомпозиции, элементами которой являются нечеткие множества;
 - б) возможность применения указанного подхода для решения плохоформализуемых технических задач многокритериальной оптимизации, требующих строгой формализации качественных понятий;
- 2) Разработано в среде Matlab под Windows универсальное программное обеспечение для решения задач многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности;
- 3) Разработана методика для разработки и оценки модели НЛР;
- 4) Предложена модель НЛР для системы позиционирования оптической головки привода CD-ROM;
- 5) Разработана и проверена методика для оценки эффективности НИР.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Решение общей задачи оптимизации МАИ // Микроэлектроника и информатика: Тезисы докладов межвузовской

научно-технической конференции / Под ред. А.Ю. Пустовита - М., 1996. - С. 166.

2. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Решение общей задачи оптимизации МАИ // Интеллектуальные системы: Труды второго международного симпозиума. - М., 1996. - т.1. - С. 234-237.

3. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Пакет программ, реализующий метод анализа иерархий // Приборы и системы управления. - 1996. - N 7. - С. 10-11.

4. Интеллектуальные системы: Отчет о НИР (промежуточ.) / МГТУ. НИС ИУ; Руководитель К.А. Пупков; Исполн.: Г.С. Грунина, Н.П. Деменков - N ГР 01.970003063, Инв. N 02.970002081. - М., 1996. - 286 с.

5. Интеллектуальные системы: Отчет о НИР (промежуточ.) / МГТУ. НИС ИУ; Руководитель К.А. Пупков; Исполн.: Г.С. Грунина, Н.П. Деменков - N ГР 01.970003063, Инв. N 02.980004019. - М., 1997. - 336 с.

6. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Проектирование нечетких моделей интеллектуальных регуляторов // Проблемы теории и практики в инженерных исследованиях: Труды 33 научной конференции РУДН. - М., 1997. - С. 218.

7. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Программный комплекс для проектирования нечеткого логического регулятора // Приборы и системы управления. - 1997. - N 8. - С. 19-21.

8. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Решение многокритериальных задач оптимизации и принятия решений в нечеткой постановке // Информационные технологии. - 1998. - N 1. - С. 13-15.

9. Грунина Г.С., Деменков Н.П., Евлампиев А.А. Решение многокритериальных задач оптимизации в условиях качественной неопределенности // Вестник МГТУ. - 1998. - N 1. - С. 45-53.

Соискателю принадлежит доказательство основной теоремы метода анализа иерархий через теорию нечетких множеств и разработка методики для разработки и оценки модели нечеткого логического регулятора.



КОПИ-ЦЕНТР св.Ц6/1306

Тираж 100 экз.

тел. 925-18-54 ,

283-09-52 (ВВЦ), тел./факс 470-90-93 **КОПИ-ЦЕНТР**

г. Москва М.Китай-город Лубянский пр.21 стр.5 (пр.Серова)

(Всероссийское общество инвалидов)