САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

КУШЕРБАЕВА Виктория Тимуровна

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург – 2011

Работа выполнена на кафедре статистического моделирования математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

Научный руководитель:	доктор физико-математических наук, профессор СУШКОВ Юрий Акимович
Официальные оппоненты:	доктор физико-математических наук, профессор ГРАНИЧИН Олег Николаевич (Санкт-Петербургский государственный университет)
	кандидат технических наук, доцент АНКУДИНОВ Иван Георгиевич (Северо-Западный государственный заочный технический университет)
Ведущая организация:	Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Защита состоится «____» __________ 2011 г. в ____ часов на заседании совета Д.212.232.51 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., 28, математико-механический факультет, ауд. 405.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9.

Автореферат разослан «____» __________ 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
доцент Кривулин Н. К.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Проблема выбора рационального решения возникает во многих областях человеческой деятельности, где из множества имеющихся альтернатив нужно выбрать в каком-то смысле наилучшую.

В случаях, когда имеется некоторая математическая модель, которая позволяет ввести функцию полезности и оценить альтернативы количественным образом, используются методы математической теории оптимизации. На практике оптимизируемая функция часто имеет достаточно сложную природу (является многоэкстремальной, имеет разрывы, недифференцируемая и пр.), иногда можно вычислять её значения только в некоторых точках.

Для решения подобного рода задач оптимизации широко применяются различные методы, в частности, рекуррентные алгоритмы стохастической аппроксимации, появившиеся в работах Х. Роббинса и С. Монро, Дж. Кифера и Дж. Вольфовица и развитые в работах Б. Т. Поляка, Я. З. Цыпкина, А. Б. Цыбакова, О. Н. Граничина и др.; метод отжига: Н. К. Метрополис, С. С. Киркпатрик; случайный поиск: Ю. А. Сушков, Л. А Растригин, С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский, А. Г. Жилинскас; эволюционные алгоритмы: Дж. Х. Холланд и др.

Основа рассматриваемого в работе алгоритма глобальной оптимизации была заложена в работе Ю. А. Сушкова; позже появились его модификации в работах А. Ш. Абакарова и Ю. А. Сушкова, где для известных тестовых функций было исследовано поведение алгоритма и показано, что для некоторых значений параметров поиска алгоритм даёт наиболее приемлемые результаты. Однако оставались нерешёнными следующие проблемы метода: недостаточная обоснованность выбора значений параметров алгоритма при решении различных задач, а также проблема выбора в некотором смысле универсальных значений.

Отдельные аспекты подобного рода алгоритмов могут быть изучены как теоретически (например, в работах А. А. Жиглявского, С. С. Киркпатрика, С. Д. Гелатта, М. П. Веччи, А. С. Тихомирова получены общие верхние оценки параметров алгоритмов), так и статистически, с помощью тестовых функций, предназначенных для оценки эффективности работы алгоритмов оптимизации. В свою очередь, тестовые функции делятся на классы в зависимости от своих свойств и могут соответствовать определённым задачам оптимизации, возникающим на практике.

Актуальной является задача выявления наилучших значений параметров алгоритма случайного поиска для дальнейшего их использования при решении практических задач.

В случае если решаемая задача принятия решения не может быть представлена с использованием количественных характеристик, применяются методы, оперирующие качественными характеристиками альтернатив. Одним из наиболее распространённых методов подобного рода является метод анализа иерархий (МАИ), разработанный Б. Н. Бруком и В. Н. Бурковым, а также Т. Л. Саати. Ключевой особенностью МАИ является оперирование качественными суждениями о парах сравниваемых объектов, для чего используется понятие шкалы — численного представления качественных суждений о сравниваемых объектах. Для обработки результатов попарных сравнений основным, хотя и не единственным методом, является метод собственного вектора, предложенный К. Бержем.

В процессе подготовки принятия решения методом анализа иерархий возникает множество проблем, связанных со спецификой конкретной задачи и наличием «человеческого фактора». При этом многие исследователи отмечали недостаточную математическую обоснованность различных аспектов метода (В. Бэлтон и Т. Гиар, Т. Стюарт, Р. Д. Холдер и др.). В частности, актуальной является проблема выбора и обоснованности шкалы, а также проблема универсальности шкалы для некоторого класса задач. В работах П. Жи, Р. Жианга, Ю. Донга, М. Биена, С. И. Гасса, М. Бернаскони и др. проводится сравнение альтернативных шкал, предложенных Д. Ма и К. Зенгом, Ф. Ж. Доддом, Х. А. Донеганом и Т. Б. М. МакМастером, Ф. А. Лутсма, А. А. Сало и Р. П. Хамалайненом, со шкалой Т. Саати. Большинство используемых шкал основано на предположении о мультипликативной природе различий альтернатив. Все рассмотренные у этих авторов шкалы удовлетворяют условию обратной симметричности, однако, как показывается в диссертации, выполнение этого условия не всегда даёт наилучшие результаты.

Помимо исследования случайного поиска и МАИ актуальной является задача оптимизации рассматриваемых методов, для чего предлагается их совместное использование. Так, параметры случайного поиска для решения конкретной задачи могут выбираться с помощью МАИ, и наоборот, случайный поиск может быть использован для рационализации МАИ.

Целью работы является исследование МАИ с использованием алгоритма случайного поиска (СП), и наоборот, исследование СП с помощью МАИ, для обоснования выбора параметров обоих методов и более эффективного их использования при решении практических задач. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи.

1. Статистическое исследование алгоритма СП и его модификации. Выявление универсальных значений параметров алгоритма как внутри отдельных трёх классов тестовых функций, так и для объединения этих классов. Разработка и обоснование методики выбора параметров алгоритма СП с использованием МАИ.

2. Теоретический и статистический анализ влияния шкал и их параметров на результаты работы МАИ. Разработка рекомендаций по выбору значений параметров метода для решения различных задач.

3. Нахождение рациональной шкалы МАИ на основе оптимизационной модели и её обоснование с помощью статистического эксперимента.

4. Разработка комплекса программ (в том числе и диалоговых) для анализа и решения задач глобальной и многокритериальной оптимизации.

Результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Методика нахождения универсальных значений параметров алгоритма СП для трёх рассмотренных классов тестовых функций, а также для объединения этих классов. Методика выбора параметров алгоритма СП с использованием МАИ. Наиболее эффективный с точки зрения выбранных критериев закон сужения перспективной области СП.

2. Асимптотические свойства параметров шкал МАИ. Связь между относительными приоритетами сравниваемых объектов, видом шкалы и её параметрами.

3. Рациональная шкала МАИ, найденная с помощью алгоритма СП.

4. Комплекс программ для анализа и решения задач глобальной и многокритериальной оптимизации.

Научная новизна. Все результаты, выносимые на защиту, являются новыми.

Теоретическая и практическая ценность. В работе исследуется шкала МАИ, основанная на логистическом уравнении, получены асимптотические свойства шкал МАИ, введены критерии, по которым найдена рациональная шкала. На основе статистического исследования алгоритма СП выявлены универсальные значения параметров алгоритма для трёх классов тестовых функций.

Полученные результаты могут использоваться при обосновании выбора параметров обоих исследуемых методов для повышения качества получаемых решений. Для этого была предложена методика выбора значений параметров СП на базе МАИ. Также представлены рекомендации по использованию шкал МАИ для решения практических задач принятия решений. На основе полученных результатов разработан комплекс программ, позволяющих решать задачи глобальной и многокритериальной оптимизации.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на семинаре кафедры статистического моделирования математико-механического факультета СПбГУ, а также на международных конференциях: XIX Международная Интернет-ориентированная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (Москва, 2007, доклад был удостоен почётного диплома за наиболее интересное научное сообщение); XIV Всероссийская школа-коллоквиум по стохастическим методам и VIII Всероссийский симпозиум по прикладной и промышленной математике (Сочи-Адлер, 2007); 5th Spring Young Researchers Colloquium on

Databases and Information Systems (SYRCoDIS, Санкт-Петербург, 2008); 19th European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning (ESANN, Брюгге, Бельгия, 2011); 11th International Symposium on the AHP (ISAHP, Сорренто, Италия, 2011).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в работах [1–8]. Из них работы [1, 2] — в списке журналов, рекомендованных ВАК.

В работах [1–4], написанных в соавторстве с Ю. А. Сушковым, автору диссертации принадлежит реализация задач, численные результаты, соавтору — общая постановка задач. В работе [5] автору диссертации принадлежит постановка задачи применения алгоритма СП к задаче кластеризации в биоинформатике, соавтору — общая концепция, описание области исследования; в работе [6] автору диссертации принадлежит реализация задачи и численные результаты, соавторам — постановка задачи и верификация результатов. В работе [7] автору диссертации принадлежит исследование шкал МАИ, Г. С. Тамазяну — исследование мер согласованности информации, Ю. А. Сушкову — постановка задачи и верификация результатов. В работе [8] автору диссертации принадлежит разработка общей концепции, представление иерархии, интерфейс программы, работа со шкалами и пр., соавторам — меры согласованности информации, верификация результатов и пр.

Результаты диссертации были частично использованы в работе по гранту РФФИ 07-07-00268-а [5], а также в проектах компании ООО «Сименс» [6] и компании «Finnlamelli Eesti».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Библиография содержит 84 наименования. Общий объём работы 135 страниц.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, проведён обзор существующих результатов, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе в разделах 1.1–1.3 описываются: задача оптимизации, алгоритм случайного поиска, его параметры, модификация на базе логистической кривой.

Пусть F — ограниченная снизу целевая функция, заданная на множестве X. Как правило, множество X имеет довольно сложную структуру и задается совокупностью равенств и неравенств. Будем считать, что $X = [0,1]^n$, а все ограничения на множество X учтены при построении целевой функции, например, с помощью штрафных функций. Под оптимумом функции на X будем понимать её глобальный минимум на этом множестве. Задача имеет следующий вид:

$$F(x) \to \min_{x \in [0,1]^n} .$$

Предполагается, что решение $x^* = \arg\, \min F$ единственно.

Под шагом работы алгоритма понимается однократное вычисление значения целевой функции в заданной точке.

Перспективная область — область, в которой наличие минимума, по нашим предположениям, наиболее вероятно. В диссертации рассматриваются показательный и логистический законы сужения перспективной области.

Параметрами СП, которые может варьировать пользователь, являются: число шагов алгоритма n_{step}, точность поиска минимума ε, параметр крутизны логистической кривой μ и параметр V_0, задающий её асимптоту, а также другие параметры, позволяющие задавать соотношение «локальных» и «глобальных» шагов к их общему количеству и тем самым определять общее поведение СП.

В качестве критериев оценки эффективности работы алгоритма при различных параметрах берутся вероятность нахождения минимума с заданной точностью ε и при фиксированном числе шагов n_{step}, а также дисперсия случайной величины, реализацией которой является найденное приближение к точке минимума целевой функции.

В разделах 1.4–1.6 проводится статистическое исследование сходимости алгоритма СП на множестве тестовых функций, описанных в приложении, экспериментальным путём выявляются наилучшие значения параметров алгоритма для каждого из трёх классов функций (унимодальных, многоэкстремальных, овражных). Также находятся универсальные значения параметров алгоритма, которые дают приемлемые результаты как внутри каждого класса рассмотренных функций, так и для их объединения.

Лемма 1. Для того, чтобы в логистическом законе сужения перспективной области СП ширина перспективного интервала за n_{step} шагов стала равной $2q_{eps} = \varepsilon$, параметры V_0, μ должны иметь следующий вид:

$$\begin{cases} V_0 = \dfrac{1}{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}e^{\mu} + 1}, \\ \mu = \ln\left(\left(\dfrac{1}{\varepsilon} - 1\right)\left(\dfrac{1}{V_0} - 1\right)\right). \end{cases}$$

По результатам исследования СП выработаны рекомендации по использованию параметров алгоритма для решения практических задач.

В разделе 1.7 находится наиболее рациональный закон сужения перспективной области поиска. Критерием эффективности работы алгоритма является вероятность нахождения минимума с фиксированной точностью и за фиксированное число шагов. Решением является кусочно-линейная функция, задающая закон изменения перспективной области. Проведённое исследование подтверждает использование логистического закона сужения перспективной области как наиболее рационального. Результатом применения логистического закона является повышение вероятности нахождения глобального минимума с заданной точностью в среднем на 1.5% для унимодальных функций, на 5% для многоэкстремальных функций, на 10% для овражных функций в сравнении с показательным законом.

В конце главы приводятся выводы главы и некоторые практические задачи, для решения которых автором диссертации были применены результаты этой части работы. В частности, была поставлена задача применения алгоритма СП для кластеризации бинарной матрицы в задаче биоинформатики [5], а также показана эффективность СП в задаче обучения комплекснозначных нейронных сетей [6].

Использованные при исследовании случайного поиска тестовые функции перечисляются в приложении, где также описываются их свойства и приводится их классификация.

Результаты первой главы опубликованы в работах [1, 3–6].

Во второй главе исследуются шкалы в методе анализа иерархий.

Пусть $X = \{x_1, \ldots, x_n\}$ — набор объектов (альтернатив), которые оцениваются набором критериев (подкритериев). Задача оптимизации, решаемая с помощью МАИ, представляется лицом, принимающим решение (ЛПР) в виде особой структуры — иерархии: на низшем уровне располагаются объекты (решения), которые необходимо ранжировать по предпочтениям ЛПР, наивысший уровень состоит из главного критерия (цели), в качестве которого выступает ЛПР, на промежуточных уровнях задаются подкритерии (подцели). Задача принятия решения здесь сводится к задаче ранжирования объектов по степени их предпочтительности, с учётом главной цели и подцелей.

Пусть множество качественных характеристик степеней превосходства одного объекта над другим по некоторому критерию качества объектов имеет вид: $K = \{$«равная важность», «слабое превосходство», «сильное превосходство» и т. д.$\}$. Для сравнения двух объектов относительно заданного критерия (подкритерия) ЛПР вводится бинарное метризованное отношение предпочтения на $X \times X$, в соответствии с которым для любых $i, j = 1..n$ паре $(x_i, x_j) \in X \times X$ присваивается некоторое значение из K. Поставим в соответствие каждому элементу из K целые числа λ следующим образом: 1) 0 — эквивалентность объектов, 2) положительное целое число — первый объект в паре превосходит второй, 3) отрицательное — второй объект в паре превосходит первый, 4) чем больше по модулю целое число, тем больше степень превосходства одного объекта над другим.

Обозначим через Λ множество чисел λ, соответствующих качественным оценкам попарных сравнений. Зададим функцию шкалы как функцию, отображающую Λ в множество положительных вещественных чисел. Множество значений функции шкалы назовём шкалой. В таблице 1 приведены рассматриваемые в работе шкалы. Заметим, что для всех приведённых шкал, кроме шкалы Брука и логистической шкалы, выполняется следующее условие: $\varphi(-\lambda) = 1/\varphi(\lambda)$.

Таблица 1. Различные шкалы, применяемые в методе анализа иерархий.

Название шкалы	Функция шкалы	Параметры
Саати	$\varphi_S(\lambda) = (1 + \lvert\lambda\rvert x_S)^{\operatorname{sign}\lambda}$	x_S — масштаб
Брука	$\varphi_B(\lambda) = c_B + \lambda x_B$	c_B — центр, x_B — масштаб
Логистическая	$\varphi_{log}(\lambda) = 2/(1 + \exp(-\mu\lambda))$	μ — крутизна
Ma-Zheng	$\varphi_{MZ}(\lambda) = (9/(9 - \lvert\lambda\rvert))^{\operatorname{sign}\lambda}$	—
Donegan-Dodd-McMaster	$\varphi_D(\lambda) = \left(\exp\left(\operatorname{arth}\frac{\lvert\lambda\rvert}{H-1}\right)\right)^{\operatorname{sign}\lambda}$	H — диапазон, $H = 1 + 6/\sqrt{3}$, $H = 1 + 14/\sqrt{3}$
Lootsma	$\varphi_L(\lambda) = c^\lambda$	c — степенной параметр $c = \sqrt{2}$, $c = 2$
Salo-Hämäläinen	$\varphi_{SH}(\lambda) = \left(\frac{0.5+\lvert\lambda\rvert s}{0.5-\lvert\lambda\rvert s}\right)^{\operatorname{sign}\lambda}$	s = 0.05, s = 1/17

В разд. 2.1–2.2 описываются основные понятия МАИ, шкалы МАИ и их недостатки. В разд. 2.3 проводится теоретическое исследование шкал МАИ, выявляются асимптотические свойства параметров шкал, которые формулируются в виде теоремы 1. Полученные результаты устанавливают связь между относительными приоритетами сравниваемых объектов (весами), видом шкалы и её параметрами.

Теорема 1. Пусть $A = \{a_{ij}\}_{ij=1}^n$ — матрица попарных сравнений объектов, где $a_{ij} = \varphi(\lambda_{ij})$, n — количество объектов, $w = (w_1, \ldots, w_n)$ — итоговый вектор относительных приоритетов объектов в методе собственного вектора. Для шкал из табл. 1 выполняются следующие соотношения.
Для шкалы Брука:

1) для любых c_B, x_B таких, что $c_B/x_B = const$, вектор w остаётся неизменным;

2) $\lim_{c_B\to\infty} w_i = 1/n$ при фиксированном x_B, $\forall i = 1..n$;

3) $\lim_{x_B\to 0} w_i = 1/n$ при фиксированном c_B, $\forall i = 1..n$.

Для шкалы Саати:

1) $\lim_{x_S \to \infty} w_i = \begin{cases} 1/k, & \text{для объектов с максимальным весом,} \\ & \text{где } k \text{ — количество таких объектов;} \\ 0, & \text{для остальных объектов.} \end{cases}$

2) $\lim_{x_S \to 0} w_i = 1/n$, $\forall i = 1..n$.

Для логистической шкалы:

1) при $\mu \to \infty$ компоненты w будут стремиться к некоторым предельным значениям.

2) $\lim_{\mu \to 0} w_i = 1/n$, $\forall i = 1..n$.

Для шкалы Lootsma: при $c \to \infty$ вектор w ведёт себя точно так же, как в случае шкалы Саати.

Для шкалы Donegan-Dodd-McMaster: при $H \to \infty$ компоненты w будут стремиться к $1/n$.

Для любой шкалы: при домножении функции шкалы на некоторое положительное число вектор w не изменится.

Доказательство теоремы 1 приведено в разделе 2.3.

В разделе 2.4 проводятся два статистических эксперимента. В первом эксперименте фиксируется исходное упорядочение n оцениваемых объектов: $x_1 \succ x_2 \succ \ldots \succ x_n$, оценки λ_{ij} — независимые реализации случайной величины, имеющей равномерное распределение на $\Lambda = -10 : 10$, где $i, j = 1..n$, матрица попарных сравнений имеет вид: $\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}_{ij=1}^n = \{\varphi(\lambda_{ij} + \varepsilon_{ij})\}_{ij=1}^n$, где φ — функция шкалы, ε_{ij} — ошибка, имеющая равномерное распределение на $\{0, \pm 1\}$. Применив метод собственного вектора, получим некоторое итоговое ранжирование объектов по значениям весов. В качестве критерия эффективности шкалы была выбрана дисперсия веса x_1 — первого объекта в исходном упорядочении. В результате было получено, что шкала Lootsma даёт наибольшие значения дисперсий результирующих весов, затем, в порядке их убывания, шкала Саати, логистическая шкала, шкала Брука и остальные.

Во втором эксперименте критерием оценки качества шкалы была выбрана вероятность совпадения первых k мест объектов, $k = 1..n$, в итоговом ранжировании с исходным ранжированием при разных значениях параметров шкалы. В результате было получено: наибольшую вероятность совпадения полученного ранжирования с исходным имеет логистическая шкала, затем шкала Саати и, наконец, шкала Брука. Из шкал Lootsma, Ma-Zheng, Salo-Hämäläinen, Donegan-Dodd-McMaster наиболее устойчивой шкалой по рассмотренному критерию является шкала Salo-Hämäläinen. Однако в сравнении со шкалами Саати, Брука и логистической эта шкала им также уступает.

В разделе 2.5 описываются примеры использования МАИ для решения практических задач. На примере шахматного турнира демонстрируется зависимость результирующего вектора весов объектов от используемой шкалы. Также реализована диалоговая система поддержки принятия решения по выбору материала для строительства дома. Благодаря свойству логистической шкалы всегда выделять наилучший вариант из множества имеющихся, в основе программы заложен МАИ с использованием этой шкалы. Программа позволяет пользователю оперировать только с качественными оценками пар объектов.

Результаты второй главы опубликованы в работах [2, 7].

В третьей главе предлагается совместное использование метода анализа иерархий и алгоритма случайного поиска. МАИ используется для выбора значений параметров СП, который, в свою очередь, используется для нахождения рациональной шкалы МАИ.

Пусть имеется некоторая функция F, требуется найти ее глобальный минимум в заданной области. Используя результаты, полученные в главе 1 для параметров СП, строится иерархия: альтернативами выступают значения параметров алгоритма, которые требуется выбрать, подкритериями являются классы функций: унимодальные, многоэкстремальные, овражные. Целью задачи принятия решений с помощью МАИ является выбор значений параметров алгоритма СП для оптимизации исходной функции F. Таким образом, ЛПР, отдав предпочтение тому или иному классу функций, получает соответствующие значения параметров алгоритма СП для каждой конкретной задачи оптимизации.

В свою очередь, алгоритм случайного поиска используется для нахождения наиболее рациональной функции шкалы МАИ (см. главу 3, раздел 3.2).

Пусть имеются объекты $x_1, \dots, x_n$, оценки λ_{ij} — независимые реализации случайной величины, имеющей равномерное распределение на Λ, $i, j = 1..n$. Добавим к этим оценкам некоторую ошибку, имеющую равномерное распределение на подмножестве Λ. Найдём новую шкалу, задаваемую функцией φ, и назовём *оптимальной* или *рациональной*, если φ удовлетворяет условиям:

$$\begin{cases} \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mathsf{D}(w_i) \to \min_{\varphi}; \\ \varphi(\lambda) > 0,\ \varphi'(\lambda) \geqslant 0; \\ \varphi(\lambda) + \varphi(-\lambda) = 2\varphi(0), \end{cases}$$

где $\mathsf{D}(w_i)$ – дисперсия объекта x_i, $i = 1..n$.

В результате эксперимента было получено, что логистическая шкала является рациональной.

В четвёртой главе описывается комплекс программ, разработанный для проведения вычислительных экспериментов в главах 1–3. Программы написаны на языках C++, Matlab, реализуют исследуемые алгоритмы и позволяют отслеживать зависимости между параметрами методов и получаемыми результатами. Помимо этого реализована диалоговая система поддержки принятия решений МАИМенеджер (AHPManager), написанная на языке $C\#$ в среде Microsoft Visual Studio 2008 с использованием DLL (динамически подключаемых библиотек), а также в главе 2 представлена программа для практической задачи принятия решения. Обе программы обеспечивают диалог с конечным пользователем – ЛПР.

Программный продукт МАИМенеджер был создан для повышения эффективности принимаемых решений за счёт удобного диалога и использования результатов, полученных в ходе работы над диссертацией. Система реализует МАИ, имеет возможность выбора шкалы в зависимости от решаемой задачи и предпочтений ЛПР, а также позволяет оперировать с различными типами информации (качественной, количественной) и проверять вводимые данные на несогласованность относительных оценок объектов. Программа также предоставляет возможность вывода результатов в виде различных диаграмм, создания удобного отчёта по результатам работы, получения подробной справочной информации по работе с программой и применению МАИ.

Для корректной работы программы необходимо наличие среды .NET Framework 3.5 или выше.

Результаты четвёртой главы опубликованы в работе [8].

В **заключении** подводятся итоги диссертационного исследования и формулируются основные результаты работы.

Список публикаций автора по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. *Кушербаева В. Т., Сушков Ю. А.* Оптимизации и выбор режима случайного поиска на базе методов принятия решений // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2008. Т. 15. Москва: Редакция «ОПиПМ». С. 92–92.

2. *Кушербаева В. Т., Сушков Ю. А.* Шкалы и их свойства в методе анализа иерархий // Известия Кабардино-Балкарского центра РАН. 2010. Т. 5. С. 15–23.

Остальные публикации:

3. *Кушербаева В. Т., Сушков Ю. А.* Статистическое исследование случайного поиска // Стохастическая оптимизация в информатике / Под ред. О. Н. Граничина. 2007. Т. 3. С. 21–36.

4. *Кушербаева В. Т., Сушков Ю. А.* Оптимизация и выбор параметров случайного поиска на базе методов принятия решений // Сборник XIX Международной Интернет-ориентированной конференции молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС). 2007. С. 61–61.

5. *Kusherbaeva V., Vyahhi N.* Stochastic Approach to Binary Matrix Partitioning for Phylogenetic Networks // Proc. of the Fifth Spring Young Researchers

Colloquium on Databases and Information Systems (SYRCoDIS). 2008. Vol. B. Pp. 24–27.

6. *Zimmermann H. G., Minin A., Kusherbaeva V.* Comparison of the Complex Valued and Real Valued Neural Networks Trained with Gradient Descent and Random Search Algorithms // Proc. of the 19th European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning. 2011. Pp. 185–192.

7. *Kusherbaeva V., Sushkov Yu., Tamazyan G.* Comparative study of scales and consistency measures in the AHP // Online proc. of the 11th International Symposium on the AHP. 2011. Pp. 1–6.

8. *Kusherbaeva V., Sushkov Yu., Tamazyan G.* AHPManager — a decision making support system based on the AHP // Online proc. of the 11th International Symposium on the AHP. 2011. Pp. 1–6.