

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

УДК 519.6.33: 004.4'2

Медетов Сейткамал Куатович

**ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОГО
КЛАССА ЗАДАЧ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент – 2010

Работа выполнена в Ташкентском университете информационных технологий

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Раджабов Бахтиёр Шарипович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Нишанов Акрам Хасанович
кандидат технических наук, доцент
Исаев Рихси Исаходжаевич

Ведущая организация: Институт математики и информационных технологий АН РУз

Защита состоится “____” _____ 2010 г. в ____ часов на заседании разового специализированного совета при Ташкентском университете информационных технологий (100084, г. Ташкент, ул. А.Тимура 108, тел.: 238-64-15, E-mail: D.GanievAA@rambler.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ташкентского университета информационных технологий.

Автореферат разослан “____” _____ 2010 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Ганиев А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Информационно-коммуникационные технологии являются одним из базовых секторов экономического развития Республики Узбекистан. В республике в достаточной мере созданы правовые и организационные основы развития информационно-коммуникационных технологий, выраженные в Указах Президента Республики Узбекистан и в Постановлениях Правительства республики. Составной частью развития информационно-коммуникационных технологий является разработка, проектирование и эксплуатация интеллектуальных программных продуктов, предназначенных для решения прикладных задач различного характера. В диссертационной работе исследуются и предлагаются современные подходы по разработке алгоритмического и программного обеспечения для решения одного класса задач стохастической оптимизации и их реализация.

Актуальность работы. Задача стохастической оптимизации (СО) относится к классу наиболее важных и трудно решаемых задач теории и практики оптимизации. Отличительной стороной этого класса задач является то, что наличие элементов стохастичности в математических моделях требует разработки и синтеза специальных методов решения и соответствующего математического и программного обеспечения (ПО). При помощи этого класса задач решаются следующие проблемы: создание эффективных и адекватных математических моделей стохастических объектов; разработка адекватных моделей систем телекоммуникаций; проектирование эффективных сетевых технологий; оптимизация функционирующих систем передачи данных; оптимальное управление объектов при условии априорной неопределенности.

На сегодняшний день предложен широкий спектр методов решения задач СО. Однако их программная реализация на персональном компьютере (ПК) крайне затруднена и предполагает использование большого объема интеллектуальных, аппаратно-технических и информационных ресурсов. Более того, к ПО такого типа предъявляются требования, связанные с эвристичностью и интерактивностью в процессах его реализации. Особенность создаваемого математического и программного обеспечения, реализующего методы решения задач СО заключается в том, что при реализации этих методов требуется учёт элементов неопределенности (стохастичности) обрабатываемых данных. В классической постановке задачи СО требуют определения экстремума функционала, у которого аргументы являются случайными величинами. При этом требуется не оценка состояния этого функционала, а точное поведение его значения при стремлении к экстремуму. В диссертационной работе исследуются подходы к разработке специального математического и программного обеспечения для методов решения задач СО, позволяющие учитывать и сглаживать элемент случайности при определении экстремума функционала.

Исследования показали, что с точки зрения стохастичности технические системы, в частности, системы передачи данных (СПД)

недостаточно изучены. В этом аспекте выявлена необходимость разработки дополнительных возможностей ПО, которые способствуют оптимизации проектируемых и повышению эффективности функционирующих СПД регионального и магистрального уровня. Это связано с тем, что при оптимизации маршрутов обмена сообщениями на основе алгоритмов СО в СПД можно значительно уменьшить среднее время задержки сообщений в сети. Ввиду этого, разработка специального математического и программного обеспечения решения класса задач СО является актуальной научно-технической задачей в области информационных и коммуникационных технологий.

Степень изученности проблемы. Задачи СО и методы их решения исследованы и разработаны, в основном во второй половине прошлого века и носили теоретический характер. В этом направлении известны работы таких ученых как Дж. Адомаин, Х.Акамке, Д.Бертсекас, М.Вазан, К.В.Гардинер, И.И.Гихман, Б.В.Гнеденко, В.С Пугачев, А.М.Гупал, С.Као, Г.П.Климов, О.Н.Граничин, Я.З Цыпкин, Л.А.Растринин, М.М.Камилов, Ф.Б.Абуталиев, Т.Ф.Бекмуратов, Р. Садуллаев и др. Наиболее сложными являются те задачи, в которых отсутствует точная информация о значениях самих функций цели и ограничений, т.е. когда для заданного решения нельзя указать точного значения функции цели и проверить справедливость требуемых ограничений. Обычно при классификации рекуррентных стохастических алгоритмов оценивания или оптимизации их условно разделяют на две группы. Одна группа алгоритмов базируется на прямых измерениях (или вычислениях) значений градиента функции потерь при различных оптимизируемых параметрах, другая – на аппроксимациях градиента, вычисляемых на основании измерений значений функции потерь. Прототипами первой группы алгоритмов является процедура Роббинса-Монро, которую можно рассматривать как обобщение известного градиентного метода, основанного на анализе бесконечно малых возмущений. Среди алгоритмов второго типа классическими являются конечно-разностный метод стохастической аппроксимации Кифера-Вольфовица и метод случайного поиска. Особенность алгоритмов первого типа – то, что на практике в них используются вместо точных значений градиента некоторые приближения, так как данные измерений, вообще говоря, не всегда точно соотносятся с реальными характеристиками исследуемой системы. В плане реализации методов стохастической оптимизации в системах телекоммуникаций можно отметить работы С.А.Осмоловского, В.Н.Четверикова, Г.П.Климова, Г.С.Уидроу, С.Г.Фосса и др. Программная реализация этих методов также затрудняется ввиду нерегулярности их алгоритмов. В области разработки ПО стохастических методов и алгоритмов применительно к системам передачи данных опубликованы работы С.А.Осмоловского, И.Карла, Д.Кнута и др. В последнее время разработка соответствующего математического и программного обеспечения, в основном, базировалась на регуляризации алгоритмов при выполнении расчетов. Однако такой подход требует

разработки автономного программного обеспечения для каждой решаемой задачи, что резко увеличивает число программ. Очевидно, что такой подход к созданию ПО для указанного класса задач является нерентабельным.

Ввиду этого, разработка теоретических, практических основ и реализация специального ПО для решения класса задач СО, не требующих автономного ПО, является важной научно-технической задачей.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Тема диссертационной работы связана с научной тематикой № БФ-Ф1-007 «Теоретико-методологические основы построения интеллектуальных программно-технических систем представления и обработки данных для поддержки принятия решений в слабоформализуемых информационных структурах», выполняемой в рамках ГНТП-14 в Ташкентском университете информационных технологий (на период с 2.01.2008-31.12.2010) и планами НИР кафедры «Информатика и компьютерная графика» ТУИТ (тема №17-014 на период 02.01.2009 – 31.12.2011).

Цель исследования. Целью диссертационной работы является исследование и разработка специального математического и программного обеспечения, представленного в виде программного инструментария (ПИ), предназначенного для решения одного класса задач стохастической оптимизации.

Задачи исследования:

- исследование и разработка алгоритмических структур для решения класса задач стохастической оптимизации;
- разработка специальных программных модулей для унификации форматов входных и выходных массивов в процессах решения задач стохастической оптимизации;
- синтез программного инструментария с соответствующим интерфейсом, обеспечивающим реализацию решения класса задач стохастической оптимизации на ПК;
- разработка методики реализации программного инструментария для оптимизации проектируемых и функционирующих сетей телекоммуникаций и систем передачи данных.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются специальные программные модули, скомпонованные в виде программного инструментария, предназначенного для решения класса задач СО и процессы реализации этого инструментария при оптимизации сетей телекоммуникаций и СПД. Предметом исследования является теоретические и практические основы разработки специального математического и программного обеспечения решения задач СО, а также, методика реализации ПИ при оптимизации СПД и телекоммуникационных сетей.

Методы исследований. В работе используются методы решения задач стохастической оптимизации, методы численной и поисковой оптимизации в условиях неопределенности, методы математического моделирования и оптимизации, методы модульного программирования и методы разработки специальных интерактивных программных средств.

Гипотеза исследования. Возможности современных программных сред будут реализованы для решения сложных задач СО, разработки теоретических и прикладных основ алгоритмизации и методики активации элемента стохастичности в данном классе задач стохастической оптимизации, характеризующие поведение внутренних и внешних возмущений.

Основные положения, выносимые на защиту:

- концептуальные подходы к разработке математического и алгоритмического обеспечения решения класса задач СО с линейной и нелинейной структурой;
- специальные программные модули для унификации форматов входных и выходных массивов в процессах решения класса задач СО;
- программный инструментарий с соответствующим пользовательским интерфейсом, обеспечивающим реализацию решения класса задач СО на ПК в диалоговом режиме;
- методика реализации ПИ для оптимизации проектируемых и функционирующих сетей телекоммуникаций и СПД.

Научная новизна работы заключается в том, что разработаны принципы алгоритмизации решения линейных и нелинейных задач стохастической оптимизации, на основе которых предлагается эффективный подход к созданию специального программного инструментария, предназначенного для решения класса задач стохастической оптимизации и его практической реализации.

Научная и практическая значимость результатов исследования обосновывается тем, что предложено специальное математическое и программное обеспечение для решения класса задач СО и методика его реализации при оптимизации телекоммуникационных сетей и СПД. Научные и практические результаты работы позволили определить научно-обоснованные пути повышения эффективности функционирующих и проектируемых инфокоммуникационных систем Республики Узбекистан. Предложенный ПИ позволяет автоматизировать процессы решения задач СО и расширить возможности специального математического и программного обеспечения ПК, вычислительных систем, а также обеспечить дистанционный доступ пользователям для решения задач моделирования и оптимизации стохастических объектов.

Реализация результатов. Результаты исследований приняты для использования при оптимизации СПД филиалом «UzNET» АК «Узбектелеком» и ГУП «UNICON.UZ» УзАСИ. Ожидаемый экономический эффект от внедрения данного программного инструментария на районном уровне телекоммуникационной сети составляет 12.8 млн. сум в год. Научные и практические результаты используются в учебном процессе Ташкентского университета информационных технологий (ТУИТ) при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Информатика и информационные технологии», «Телекоммуникация» и др.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на четвертой всемирной конференции «Интеллектуальные системы для индустриальной автоматизации» WCIS-2006 (г.Ташкент, 2006); на четвертой международной конференции «Интернет и библиотечно-информационные ресурсы в науке, образовании, культуре и бизнесе» Central Asia-2006 (г.Ургенч, 2006); на международных конференциях «Information Technology Promotion in Asia» ИТРА-2007, ИТРА-2008, ИТРА-2009 (г.Ташкент, 2007, 2008, 2009 г.г.); на международной конференции «Электроника, информация и коммуникация» ICEIC-2008 (г.Ташкент, 2008); на республиканской научно-практической конференции «Инфокоммуникационные технологии в образовании и науке» (г. Ташкент, 2006); на республиканской научной конференции «Современные проблемы и актуальные вопросы функционального анализа» (г. Нукус, 2006); на республиканской научно-практической конференции «Проблемы совершенствования учебной, научной и организационной деятельности в системе высшего образования» (г.Гулистан, 2006); на Республиканской выставке «Инновация - 2009» (Ташкент, 2009).

Опубликованность результатов. По теме диссертационной работы опубликованы 16 научных статей, тезисов и докладов, среди них – 4 журнальные статьи, 2 – в сборниках научных трудов, 9 – в материалах международных и республиканских научных конференций и получено 1 свидетельство о регистрации программ, зарегистрированных в Государственном Патентном ведомстве РУз.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы, включающего 153 наименования и приложения. Основная часть работы изложена на 120 страницах машинописного текста. Работа содержит 25 иллюстраций и 6 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** изложена актуальность темы диссертационной работы, степень изученности научной проблемы, характеристики объекта исследования, связь диссертационной работы с тематическими планами НИР, цель исследования, научная новизна, практическая значимость и сведения о реализации полученных результатов. Также дано краткое содержание диссертационной работы по главам.

Первая глава диссертации посвящена обзору литературы, определению объектов приложения задач стохастической оптимизации (СО), их классификации и вопросам разработки программного обеспечения (ПО) для методов решения задач СО.

Наиболее типичными объектами приложений методов и алгоритмов СО являются задачи оценивания параметров сигнала, наблюдаемого на фоне помех. Предположим, что математическая модель наблюдаемого (регистрируемого измерительным прибором) сигнала $\{y_n\}$ имеет вид

$$y_n = \theta + \nu_n \quad (1)$$

здесь θ - неизвестная постоянная величина (полезный сигнал); $\{\nu_n\}$ - неизвестная помеха наблюдения, изменяющаяся во времени, $n = 1, 2, \dots$. Интервал времени наблюдения может быть либо неограниченным, либо конечным. Требуется по набору величин y_1, \dots, y_N , состоящему из наблюдений, полученных к моменту времени N , оценить значение величины θ в (1). В такой общей постановке нет возможности получить какое-нибудь удовлетворительное решение задачи. Для большей содержательности в постановку задачи вносят уточняющие дополнения. Например, при статистическом подходе делают те или иные предположения о вероятностных свойствах помех $\{\nu_n\}$ в (1). Достаточно характерным является предположение о центрированности (среднее значение равно нулю) и независимости (в упрощенном смысле, нет зависимости между значениями в разные моменты времени) помехи. В этой ситуации, просуммировав и усреднив N значений наблюдений, получим

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n = \theta + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \nu_n$$

Следующим объектом приложения задач СО являются сети телекоммуникаций (СТ) и системы передачи данных (СПД). В работе определены проблемы, возникающие при проектировании и эксплуатации СТ и СПД. В их число входят задачи определения оптимальных маршрутов сообщений, при которых среднее время задержки сообщений в сети будет минимальным. При заданной топологии СПД известны: матрица входных потоков - $\|\gamma_{ij}\|$; пропускные способности линий связи - $\|d_{kl}\|$; средняя длина сообщения - $1/\mu$, необходимо найти: значения переменных $x_{kl}^{(i,j)}$, при которых среднее время задержки сообщений в сети будет минимальным, т.е.

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \frac{f_{kl}}{d_{kl} - f_{kl}} \longrightarrow \min \quad (2)$$

при заданных ограничениях:

$$f_{kl} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} \cdot x_{kl}^{(i,j)}; \quad k, l = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

$$f_{kl} < d_{kl}; \quad k, l = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^N x_{kl}^{(i,j)} - \sum_{k=1}^N x_{lk}^{(i,j)} = \begin{cases} -1, & l = i \\ 0, & l \neq i, j \\ 1, & l = j. \end{cases} \quad (5)$$

$$0 \leq x_{kl}^{(i,j)} \leq 1; \quad i, j, k, l = 1, 2, \dots, N. \quad (6)$$

Задача (2) - (6) называется задачей выбора оптимальных потоков и определения оптимальных маршрутов в сети передачи данных по критерию минимизации средней задержки сообщений в сети. Используя принцип

реализации метода ограничений, задача (2)-(6) эквивалентно отображается к задаче

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = \sum_{i=1}^k \rho_i \omega_i(x) \rightarrow \min \\ \rho_i \omega_i(x) \leq \delta, i = 1, k, x \in D, \delta \geq 0 \end{array} \right\} \quad (7)$$

где ρ_i - весовые коэффициенты, $\omega_i(x)$ -стохастические функции, D -область допустимых значений. Для решения задачи (7) предложен интерактивный алгоритм, при помощи которого осуществляется диалоговый режим поиска оптимального решения. На основании проведенных исследований объекта установлено, что при эксплуатации СПД возникают ситуации, сопровождающиеся неопределенностью. Эти неопределенности способствуют увеличению среднего времени задержки сообщений в СПД, что влечет за собой повышение себестоимости передачи сообщений. В таких случаях, для выбора оптимальных потоков и определения оптимальных маршрутов в СПД, необходимо использование методов решения задач СО, которые, в свою очередь, определяют необходимость разработки соответствующего программного обеспечения, реализующего диалоговый режим поиска решения задач СО. Определены основные требования к разработке ПИ, использующие алгоритмы решения задач СО. В конце главы определена цель исследования и сформулированы основные задачи, решаемые в рамках диссертационной работы.

Во **второй главе** работы исследуются вопросы алгоритмического обеспечения решения задач стохастической оптимизации. Для этого исследованы типичные поведения стохастической функции $F(x^s, k, \theta^s)$ и элемента зашумленности θ (Рис.1).

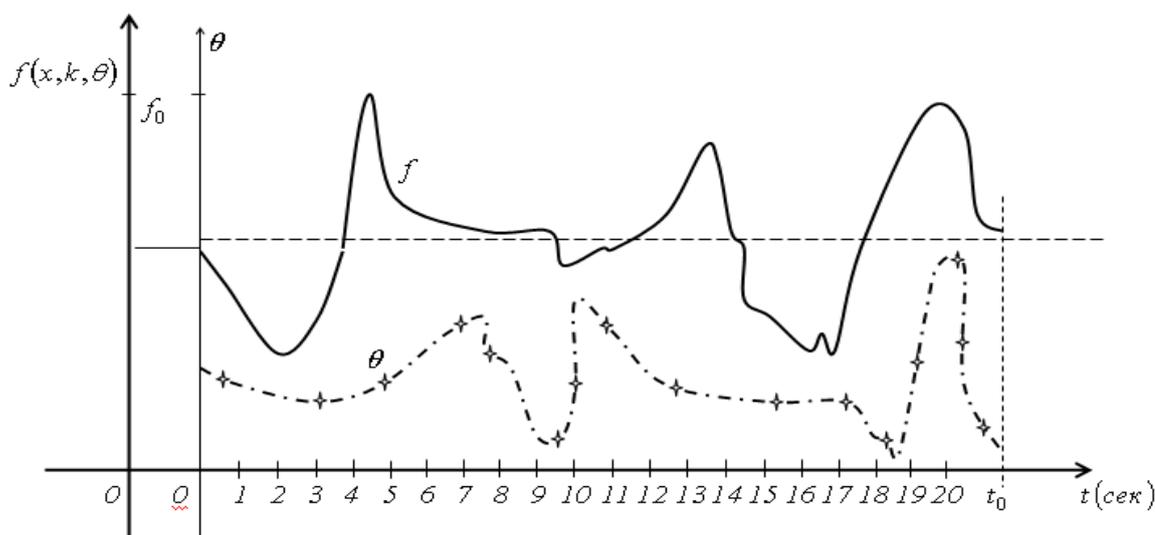


Рис 1. Поведение стохастической функции $F(x^s, k, \theta^s)$ и элемента зашумленности θ

Такого характера данные получены при анализе высокоскоростных СПД. Определены общие подходы к алгоритмизации методов решения задач СО. В качестве наиболее общей задачей СО определена задача минимизации среднего значения показателя $f^0(x, \theta)$, который имеет следующий вид:

$F^0(x) = Mf^0(x, \theta) \rightarrow \min$, при ограничениях $F^i(x) = Mf^i(x, \theta) \leq 0$, $i = 1, \dots, m$, $x \in X$, где М-знак математического ожидания. Для решения этой задачи предлагается интерактивный алгоритм, который имеет следующий вид:

I. **ПК**: Находится начальное допустимое решение (x^1, θ^1) и вычисляется ее двумерная оценка $Y^1 = F(x^1, \theta^1) = (F_1(x^1, \theta^1), F_2(x^1, \theta^1))$

II. **ЛПР**: сравнивает оценки $Y^i = F(x^i, \theta^i) = (F_1(x^i, \theta^i), F_2(x^i, \theta^i))$ и $Y^i + \gamma_i \tau^i = (F_1(x^i, \theta^i) + \gamma_i \tau_1^i, F_2(x^i, \theta^i) + \gamma_i \tau_2^i)$ и сообщает, какая из них, по его мнению, является более предпочтительной.

III. **ПК**: 2.1. Определяется двумерный вектор $\zeta(x, \tau) = (\zeta_1(x, \tau), \zeta_2(x, \tau))$, где: $\zeta_k(x^i, \tau^i) = \begin{cases} \tau_k^i, & \text{если } (F_k(x^i, \theta^i) + \gamma_i \tau_k^i) \stackrel{\text{ЛПР}}{>} F_k(x^i, \theta^i), k = 1, 2; \\ -\tau_k^i, & \text{в противном случае} \end{cases}$

2.2. Вычисляются стохастические квазиградиенты целевых функций в точке x^i : $\nabla_x F_1(x^i, \theta^i) = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m h_{jt}(\theta^i)$, $\nabla_x F_2(x^i, \theta^i) = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m c_{jt}(\theta^i)$

2.3. Определяется $\varpi(x^i, \tau^i) = \zeta_1(x^i, \tau_1^i) \nabla_x f_1(x^i, \theta^i) + \zeta_2(x^i, \tau_2^i) \Delta_x f_2(x^i, \theta^i)$;

2.4. Находится очередное значение $\rho_i = \frac{1}{(1+i)^\alpha}$; $\delta_i = \frac{1}{(1+i)^\beta}$,

где $\alpha > \beta$ и $\frac{1}{2} < \alpha \leq 1$, $\frac{1}{2} < \beta \leq 1$.

2.5. Вычисляется новое допустимое решение

$$\begin{cases} x^{i+1} = x^i + \rho_i (\bar{x}^i - x^i), \\ z^{i+1} = z^i + \delta_i (\varpi(x^i, \tau^i) - z^i) \\ \bar{x}^i = \arg \min \{ (z^i, x) / x \in X \} \end{cases}$$

2.6. Находится новая реализация случайного вектора θ^{i+1} и $\tau^{i+1} = (\tau_1^{i+1}, \tau_2^{i+1})$;

2.7. Вычисляется значение множителя γ_{i+1} ;

2.8. Сообщается ЛПР оценку

$Y^{i+1} = F(x^{i+1}, \theta^{i+1}) = (F_1(x^{i+1}, \theta^{i+1}), F_2(x^{i+1}, \theta^{i+1}))$ и смещенную оценку

$$Y^{i+1} + \gamma_{i+1} \tau^{i+1} = (F_1(x^{i+1}, \theta^{i+1}) + \gamma_{i+1} \tau_1^{i+1}, F_2(x^{i+1}, \theta^{i+1}) + \gamma_{i+1} \tau_2^{i+1});$$

2.9. Полагая $i = i + 1$, переходит к новому шагу.

Аналогично исследованы алгоритмы случайного поиска, двухэтапного стохастического программирования и стохастический алгоритм решения

задачи дискретной оптимизации. В результате проведенных исследований выявлено, что асимптотическая скорость сходимости стохастических методов вблизи оптимального решения может быть значительно увеличена за счет оптимального выбора шага спуска ρ_s . Изменять x_s^i в зависимости от F_s можно или автоматически, или в режиме диалога с компьютером.

Третья глава работы посвящена синтезу ПИ для решения задач СО. Основываясь на разработанных выше алгоритмических подходах и учитывая специфику методов решения задач СО, определена технология построения ПИ «Стохастическая оптимизация». Разработка ПИ, функционирующего в диалоговом режиме, обусловлена определением основных компонентов и модулей. Разработан процесс формирования основных управляющих компонентов и модулей ПИ, согласно алгоритмов СО, включенных в состав ПИ. К этим алгоритмам относятся следующие: алгоритм симплекс - метод (базовый алгоритм); алгоритм метода стохастической линейаризации; алгоритм комбинированного стохастического метода; алгоритм метода ограничений; алгоритм метода свертки; алгоритм параметрического программирования. Определены основные требования к разработке данного ПИ. На начальном этапе предложена разработка автономных модулей и компонент программы, ее технология в среде Borland Delphi 2007. Для наглядности, определены управляющие компоненты ПИ на базе алгоритмов стохастической линейаризации и комбинированного стохастического метода. В соответствии с алгоритмом метода стохастической линейаризации определены основные компоненты программного модуля, которые состоят из процедуры *Stolin*, в состав которого входят модули *step* и *method* (Рис.2). Модуль *method* выполняет функцию подпрограммы, в которой реализован сам метод стохастической линейаризации. При компиляции вышеизложенных модулей происходит загрузка тела программы, обеспечивающая диалоговый режим вычислений.

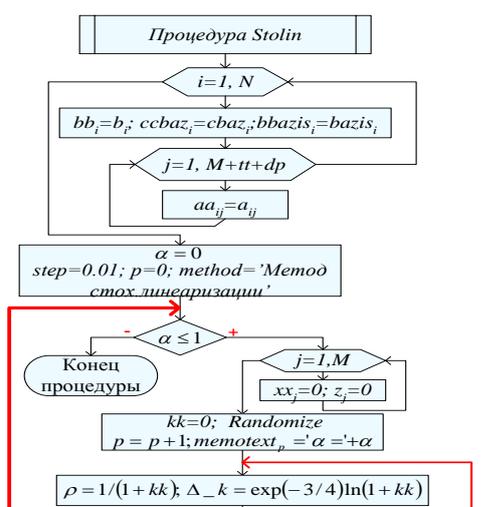


Рис.2. Компоненты алгоритма метода стохастической линейаризации

Аналогично предыдущему, определены основные компоненты и программные модули алгоритма комбинированного стохастического метода.

Для этого метода процедуру управления обеспечивают модули: Mtr ; cc , dd , $ddelta$, $ddeltaMM$, bb , $ccbaz$: Vec , соответственно. ПИ обеспечивает компьютерную реализацию таких методов, как метод симплекса, комбинированные методы решения задач стохастического программирования и методы параметрического программирования. При этом у пользователя ПИ появляются следующие возможности: при решении задач СО получение интерактивных таблиц и табличных данных; обеспечение диалоговых процедур решения многокритериальной стохастической задачи; решение задач параметрического программирования; проведение послеоптимизационного анализа решения на основе двойственных оценок и параметрирования коэффициентов. В возможности ПИ входит решение стохастических многокритериальных задач вида и формата:

$$\begin{cases} F_k(x) = \sum_{j=1}^n c_{kj}(\theta) x_j + \xi(\theta_k) \rightarrow \max(\min), & (k = \overline{1,10}), \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j (\leq, =, \geq) b_i & (i = \overline{1,100}), d_j \leq x_j \leq D_j \quad (j = \overline{1,100}), \end{cases}$$

где, $F_k(x)$ - критериальный функционал с линейными и нелинейными коэффициентами и аддитивной помехой; c_{kj} , a_{ij} , b_i - заданные коэффициенты и правые части ограничений; $\xi(\theta_k)$ - вектор внешних и внутренних возмущений; n , k - форматы задачи. Структурная схема ПИ представлена на рис.3.

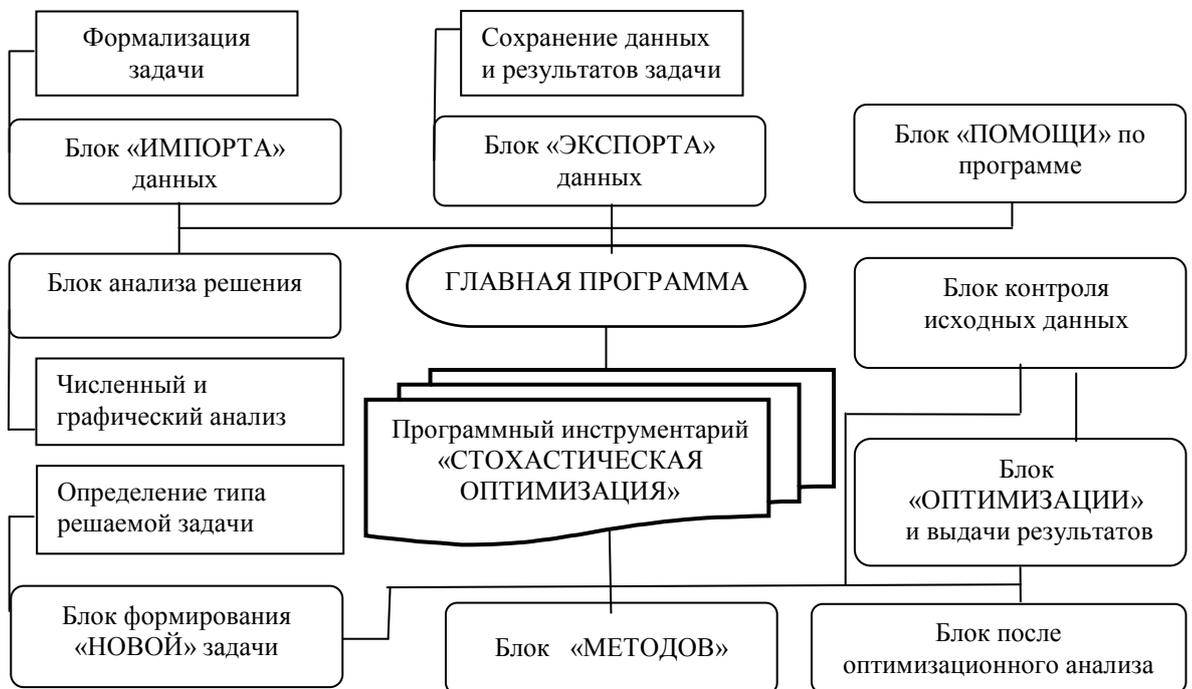


Рис. 3. Структурная схема ПИ «Стохастическая оптимизация».

Интерфейс предложенного ПИ представлен на рис. 4.

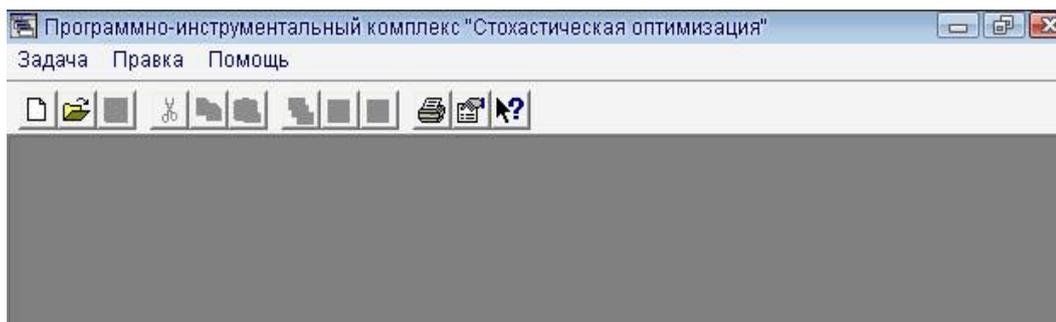


Рис.4. Интерфейс ПИ «Стохастическая оптимизация»

В верхней части окна главной программы расположены строки меню ЗАДАЧА, ПРАВКА, ПОМОЩЬ, а во второй строке имеется панель инструментов. Структура меню «Задача» имеет следующий вид (Рис. 5):



Рис. 5. Структура меню «Задача»

при нажатии под меню «Новая» открывается диалоговое окно, определяющее поля для ввода формата задач, исходных массивов по коэффициентам целевых функций, систем ограничений, управление итерацией, выбора метода, а также информация о готовности ПИ к решению задач (рис.6).

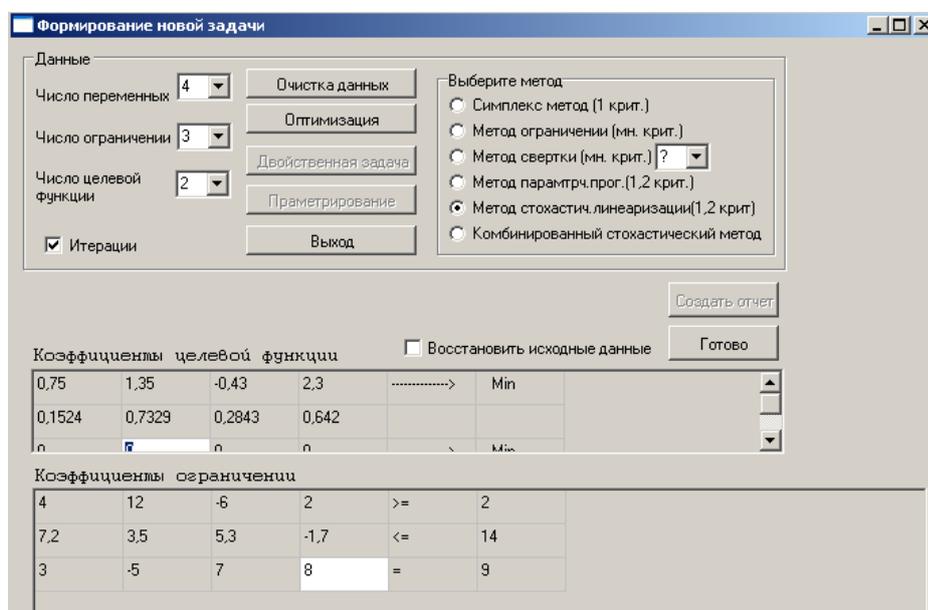


Рис. 6. Окно формирование новой задачи

При нажатии кнопки «Готово» активируется кнопка «Оптимизация», в результате чего получается решение в соответствующей форме (рис.7). При необходимости, ПИ допускает диалоговый режим поиска решений задачи СО совместно с ЛПР, по указанным выше интерактивным алгоритмам.

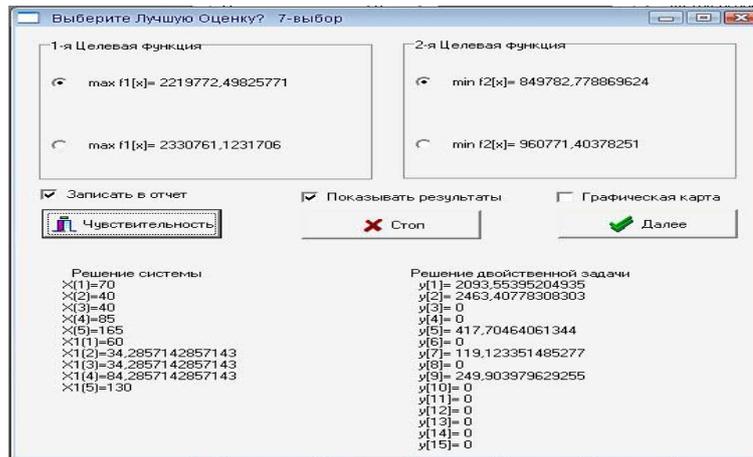


Рис.7. Диалоговое окно ЛПР с ПК

Для эксплуатации предложенного ПИ разработана инструкция пользователя с учетом возможности вариантного и послеоптимизационного анализа результатов решения задач СО. Работоспособность предложенного ПИ была проверена с использованием системы автоматизированного тестирования программного обеспечения DUnit. Результаты тестирования показали полную работоспособность предложенного ПИ.

В четвертой, заключительной главе работы изложены методика и технология реализации ПИ «Стохастическая оптимизация» при решении задачи оптимизации маршрутов СПД. Осуществлена формализация задачи оптимизации маршрутов СПД в виде задач (2)-(6) объекта внедрения ПИ. Исследованы основные характеристики СПД, по которым производится оптимизация маршрутов. В качестве примера разработана математическая модель определения закономерности процесса передачи данных протоколов TCP/IP методами стохастического программирования. В действующих протоколах TCP/IP процесс потери пакетов определяет информацию о состоянии сети. Если рассматривать его как процесс наблюдений, то естественно предположить, что интенсивность потери пакетов зависит, с одной стороны, от состояния соединения, а с другой, от скорости передачи данных, которую естественно рассматривать как параметр управления потоком. С точки зрения теории случайных процессов поток потерь образует так называемый считывающий процесс

$$N_t = \sum_{\tau_i \leq t} I\{t \geq \tau_i\},$$

где τ_i моменты потери пакетов. Управление потоком $U(t)$ или текущая скорость передачи пакетов формируется как функционал от наблюдений $U_t = U(t, N_0^t)$ и является $F_t^N = \sigma\{N_s, s \leq t\}$ - предсказуемой случайной функцией. Здесь $\sigma\{N_s, s \leq t\}$ есть σ - алгебра событий, порожденных процессом N_t , и соответственно управление U_t является функцией от моментов времени $\tau_1, \dots, \tau_{N_t}$ и текущего времени t . Возможность использования данного представления основана на предположении, что интенсивность потока потерь $f(\theta_t, U_t)$ есть функция текущего состояния

сети θ_t и текущей скорости передачи данных U_t . Эта характеристика имеет следующую интерпретацию: при передаче пакетов со скоростью U_t один пакет отправляется за $\Delta_t = 1/U_t$ единиц времени. Вероятность потери пакета, отправляемого при состоянии канала связи θ_t со скоростью U_t при малых Δ_t допускает представление:

$$P\{\text{Потери пакета } v\} = f(\theta_t, U_t)\Delta_t + O((\Delta t)^2),$$

Предложенные выше математические модели и программный инструментарий были использованы для определения оптимальных маршрутов отправления сообщений. Реализация разработанного программного инструментария осуществлена на формализованных и реальных СПД с заданной топологической структурой на примерах СПД «А1-магистраль» и «А2-Ташкент» (рис. 8).

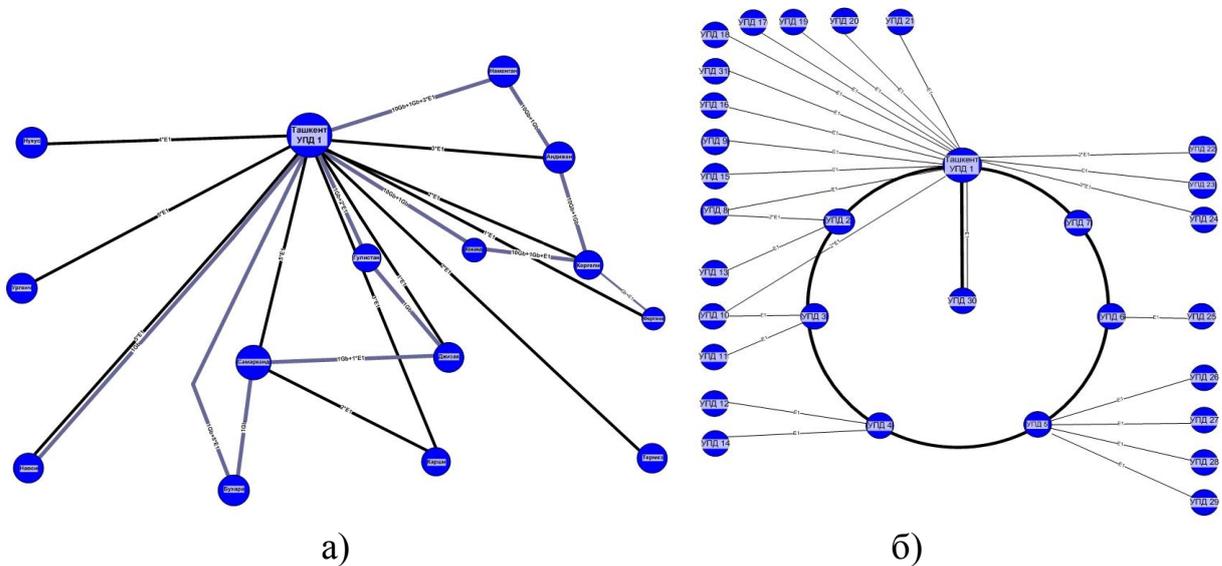


Рис.8. Топологические структуры СПД «А1-магистраль» (а), «А2-Ташкент» (б)

Для более полного исследования были проведены численные эксперименты, при которых элементы матриц входных потоков одновременно умножались на одну и ту же величину – нагрузку на сеть. По результатам численных экспериментов были построены функциональные зависимости среднего времени задержки сообщений по сети от величины нагрузки. Графики данных зависимостей приведены на рис.9. Результаты экспериментов показывают, что перегрузка сети наступает при увеличении

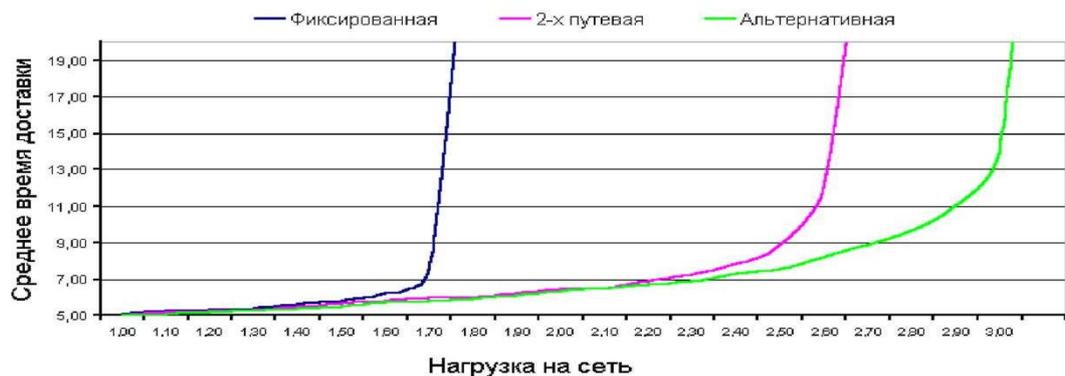


Рис. 9. Сравнение методов маршрутизации

нагрузки на сеть: для фиксированной маршрутизации в 1.7, для 2-х путевой маршрутизации в 2.6, для альтернативной маршрутизации 3.1 раза.

Проведен анализ с использованием математических моделей и ПИ «Стохастическая оптимизация», а также результаты измерений на реальной сети, позволили сделать вывод о целесообразности реализации алгоритма 2-х путевой маршрутизации.

В результате экспериментов были построены функциональные зависимости средней задержки сообщений по сети от величины нагрузки. Результаты численных экспериментов и графики данных зависимостей представлены в таблице и на рис.10. Результаты экспериментов показывают, что: 1) средняя задержка сообщений уменьшилась (при 2-х путевой маршрутизации) по сравнению с вариантом 2003 г. (3.83 сек – в 2003 г.; 1.97 сек – в 2009 г.);

2) перегрузка сети наступает при двукратном увеличении нагрузки на сеть для обоих вариантов.

Таблица 1.

Данные по сети

Нагрузка на сеть	Среднее время доставки	
	2003	2009
1.00	3.83	1.97
1.10	3.85	2.05
1.20	4.08	2.23
1.30	4.12	2.41
1.40	4.19	2.53
1.50	4.22	2.62
1.60	4.34	2.88
1.70	4.75	3.06
1.80	5.34	4.02
1.90	9.08	7.01
2.00	19.00	19.00

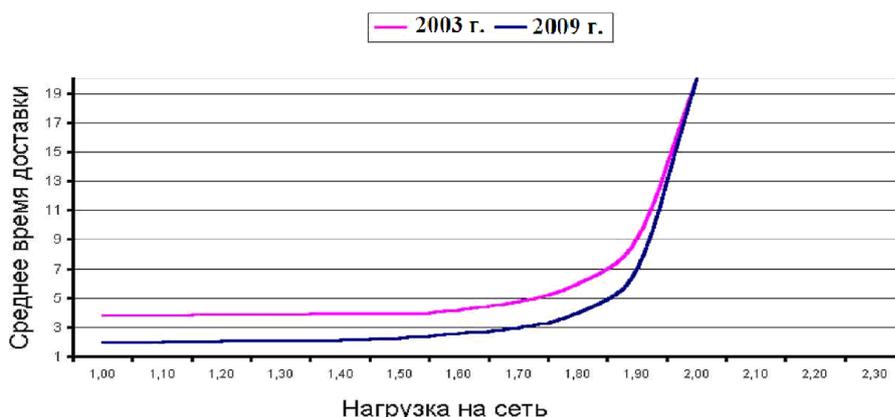


Рис. 10. Зависимость времени доставки сообщений от нагрузки на сеть

На основании проведенных исследований установлено, что при увеличении объема информационных потоков (нагрузка на сеть), необходима дальнейшая модернизация СПД «А1-магистраль» и «А2-Ташкент» с учетом оптимизации маршрутов сообщений в узлах коммутации, что приведет к повышению пропускных способностей и уменьшению средней времени задержки сообщений в каналах связи в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен теоретический и экспериментальный анализ по методам и алгоритмам решения класса задач СО. В частности, в качестве объекта приложений задач СО определены СПД и телекоммуникационные сети. Произведена классификация методов и алгоритмов решения задач СО и исследованы вопросы о необходимости разработки специального ПО для реализации методов решения класса задач СО.

2. Выявлено, что асимптотическая скорость сходимости стохастических методов вблизи оптимального решения может быть значительно увеличена за счет оптимального выбора шага спуска ρ_s . Установлено, что изменять c_s в зависимости от F_s можно или автоматически, или в режиме диалога с компьютером.

3. Предложен стохастический алгоритм решения задачи дискретной оптимизации в виде правил движения в множестве случайных булевых величин, согласно следующей процедуре итераций

$$\tilde{x}_j^{k+1} = f_j^{k+1}(\tilde{x}_j^k, Y_j^{k+1})$$

где \tilde{x}_j^k - случайная булева функция, полученная на предыдущем шаге итерации; Y_j^{k+1} - величина шага движения \tilde{x}_j^{k+1} ; f_j^{k+1} - случайные булевы функции, определенные с точностью до параметров. Исследованы его вероятностные характеристики.

4. Установлено, что введение параметрической идентификации принципиально упрощает алгоритмы решения задачи СО и дает возможность использовать в процессе их решения классические алгоритмы линейного и нелинейного программирования. Исследованы и разработаны основные модули и управляющие компоненты на примере алгоритмов метода стохастической линеаризации и комбинированного стохастического метода. Обоснована универсальность выделенных модулей и управляющих компонентов для других алгоритмов решения задач СО (метод ограничений, метод свертки, алгоритм параметрического программирования).

5. Разработан ПИ «Стохастическая оптимизация» в состав которого входят взаимосвязанные модули «формирования новой задачи», «методы», «оптимизация» и «результаты», модули импорта и экспорта данных и модуль «помощь» по программе. Определены возможности ПИ по классификации поступающих задач и поиска адекватного метода решения. Разработан диалоговый режим работы ПИ, позволяющий наблюдать и корректировать процесс решения в реальном масштабе времени. Работоспособность предложенного ПИ установлена с использованием тестирующей программы DUnit.

6. Проведена формализация объектов внедрения разработанного ПИ, выраженного в виде математических моделей, определяющих закономерности пропускной способности СПД, на основе которых сформулированы задачи выбора оптимальных потоков и определение

оптимальных маршрутов в СПД по критерию минимизации средней задержки сообщений в сети.

7. Разработана математическая модель определения закономерностей процессов передачи данных на примере протокола ТСР/ІР с использованием методов СО. Осуществлена численная реализация данной модели с использованием предложенного ПИ, на основе чего получены оптимальные в смысле среднеквадратической оценки состояния канала по наблюдениям процесса потери пакетов.

8. Предложенные выше математические модели и программный инструментарий были использованы для анализа сетей передачи данных и определения оптимальных маршрутов отправления сообщений. Реализация разработанного ПИ осуществлена на формализованных и реальных СПД, с заданной топологической структурой. Для этого были формализованы СПД «А1-магистраль» и СПД «А2-Ташкент».

9. Построены функциональные зависимости средней задержки сообщений по сети от величины нагрузки для выбранных СПД и ее подсистем. На основании этих зависимостей было выявлено, что при увеличении объема информационных потоков (нагрузка на сеть) необходима дальнейшая модернизация СПД «А2-Ташкент» с учетом оптимизации маршрутов сообщений в узлах коммутации (с применением ПИ), что приведет к повышению пропускных способностей каналов связи в целом. Ожидаемый экономический эффект от внедрения ПИ на районном уровне телекоммуникационной сети составляет 12,8 млн. сум в год.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Раджабов Б.Ш., Утеулиев Н.У., Медетов С.К. О сходимости алгоритма случайного поиска при идентификации стохастических объектов. // Материалы РНТК «Инфокоммуникационные технологии в образовании и науке». 6-7 апреля 2006. – Ташкент, 2006. - С. 197-200.

2. Утеулиев Н.У, Медетов С.К. Стохастик дастурлаш масаласининг бир синфини сонли усуллар ёрдамида ечишнинг дастурий таъминоти. // Материалы РНТК «Инфокоммуникационные технологии в образовании и науке». 6-7 апреля 2006. – Ташкент, 2006. - С. 242-244.

3. Раджабов Б.Ш., Медетов С.К. Реализация решения задачи Лагранжа при оптимальном управлении систем. // Материалы РНТК "Современные проблемы и актуальные вопросы функционального анализа". 25-27 июня 2006. – Нукус, 2006. - С. 116-119.

4. Раджабов Б.Ш., Мамажонов Р.Я., Маматалиев А.М, Медетов С.К. Базовые архитектуры распределенной обработки библиотечной информации. // Материалы 4-ой Международной конференции «Интернет и библиотечно-информационные ресурсы в науке, образовании, культуре и бизнесе: Central Asia – 2006». 18-22 октября 2006 г. – Хива, 2006. – С. 177-181.

5. Radjabov B.Sh., Mamajanov R.Ya., Medetov S.K. Developing an algorithm of multidimensional random search to solve problems of stochastic optimization.

// Proceedings Fourth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, - Tashkent, Uzbekistan, November 21-22, 2006. - P. 141-144.

6. Раджабов Б.Ш., Мамадалиев А.М., Медетов С.К. Олий таълим тизимида ўқув жараёнини виртуаллашнинг математик ва дастурий таъминоти // Республика илмий-назарий конференция материаллари тўплами. 28 ноябр 2006. - Гулистан, 2006. 187-188 б.

7. Раджабов Б.Ш., Мамадалиев А.М. Медетов С.К. Ўқув жараёнларини виртуаллаштиришда Веб технологиялардан фойдаланиш // Республика илмий-назарий конференция материаллари тўплами. 28 ноябр 2006. - Гулистан, 2006. 192-193 б.

8. Раджабов Б.Ш., Мамажанов Р.Я., Медетов С.К. Стохастический алгоритм решения задачи дискретной оптимизации в классе псевдодобулевых функций. // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2007. №1. - С. 53-55.

9. Раджабов Б.Ш., Мамажанов Р.Я., Медетов С.К. Моделирование закономерности процесса передачи данных в протоколах TCP/IP методами стохастического программирования. // Алока дунёси. – Ташкент, 2007. №1. - С. 47-51.

10. Kadirov F., Yunusov G., Medetov S. Role of Communications Facilities in Training Specialists for Law-Enforcement Organs. // Proceedings International Conference on Information Technology Promotion in Asia 2007 (ITPA 2007). – Tashkent, Uzbekistan, September 24-28, 2007. - P. 27-28.

11. Akhmedov A.G., Mamajanov R.Ya., Ravshanov N., Medetov S.K., Khaliulina A.R. Electoric Teaching and Methodical Complexes Development For Human Anatomy Course with Grid Technologies Application. // Proceedings International Conference on Information Technology Promotion in Asia 2007 (ITPA 2007). – Tashkent, Uzbekistan, September 24-28, 2007. - P. 29-32.

12. Мамажанов Р.Я., Медетов С.К. Параметрическая идентификация в задачах оперативного стохастического программирования. // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2008. №1. - С. 62-64.

13. Utewliev N.U., Arzimbetov T.Z., Medetov S.K., Kalimbetov J.K. IT implementing in Agriculture. // Proceedings the 9th International Conference on Electronics, Information and Communication (ICEIC 2008) – Tashkent, Uzbekistan, June 24-27, 2008. - P. 248-251.

14. Медетов С.К. Программный инструментарий "Стохастическая оптимизация". // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2009. №1. - С. 92-97.

15. Раджабов Б.Ш., Медетов С.К., Мамажанов Р.Я. Программный инструментарий для решения задач стохастической оптимизации. // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 01712. 11.03.2009 г.

16. Radjabov B.Sh., Medetov S.K., Boynazarov I.M. Realization of software tools "Stochastic optimization" in optimization process of data transmission network. // Proceedings International Conference on Information Technology Promotion in Asia 2009 (ITPA 2009). – Tashkent, Uzbekistan, September 21-25, 2009. - P. 310-313.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Медетов Сейткамал Куатовичнинг 05.13.11 “Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютер тармоқларининг математик ва дастурий таъминоти” ихтисослиги бўйича “Стохастик оптималлаш масалаларинг бир синфини ечиш учун дастурий восита” мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: стохастик оптималлаш, дастурий таъминот, дастурий восита, оптималлаш усуллари, дастурий интерфейс, интерактив дастурий таъминот, информацион оқим, маълумотлар узатиш тизимлари, телекоммуникация тармоқлари.

Тадқиқот объектлари: махсус дастурий модулар ишлаб чиқиш жараёнлари. Стохастик оптималлаш масаласи ечишга қаратилган интерактив дастурий воситаларини ишлаб чиқиш ва уларни телекоммуникация тармоқлари ва маълумотларни узатиш тизимларини оптималлашда қўллаш технологиялари.

Ишнинг мақсади: стохастик оптималлаштириш масалалари синфини ечиш ва уни тадбиғига мўлжалланган ва дастурий восита сифатида шакиллантирилган математик ва дастурий таъминотни яратиш.

Тадқиқот методлари: стохастик масалаларни ечиш усуллари, ноаниқлик шароитида оптималлашнинг сонли ва қидрув усуллари, математик моделлаштириш ва оптималлаш усуллари, модулли дастурлаш усуллари ва махсус интерактив дастурий воситалар яратиш усуллари.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: интерактив дастурий восита сифатида шакиллантирилган, стохастик оптималлаштириш масалалар синфини ечишга мўлжалланган ва телекоммуникация тармоғи ва маълумотларни узатиш тизимларини оптималлашда қўлланишнинг математик ва дастурий таъминоти таклиф этилган.

Амалий аҳамияти: дастурий восита стохастик объектларнинг қонуниятларини моделлаштириш ва оптималлаштириш жараёнларини автоматлаштириш имкониятини беради.

Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: тадқиқот натижалари маълумотлар узатиш тизимларини лойихалаш ва ишлатишда қўллаш мақсадида “Ўзбектелеком” Акциодарлик компаниясининг «UzNET» филиали ва «UNICON.UZ» давлат унитар кархоналари томонидан қабул қилинган. Туман миқёсидаги телекоммуникацион тармоқда қўлланиши натижасида кутиладиган йиллик иқтисодий самара 12,8 млн. сўмни ташкил этади.

Қўлланиш соҳаси: ахборот коммуникация технологиялари, стохастик тизимлар, маълумотларни узатиш тизимлари ва телекоммуникация тармоқлари.

РЕЗЮМЕ

диссертации Медетова Сейткамала Куатовича на тему: «Программный инструментарий для решения одного класса задач стохастической оптимизации» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Ключевые слова: стохастическая оптимизация, программное обеспечение, программный инструментарий, методы оптимизации, программный интерфейс, интерактивное программное обеспечение, информационные потоки, системы передачи данных, сети телекоммуникации.

Объекты исследования: специальные программные модули, скомпонованные в виде программного инструментария, предназначенного для решения класса задач стохастической оптимизации и процессы реализации этого инструментария при оптимизации сетей телекоммуникаций и СПД.

Цель работы: разработка специального математического и программного обеспечения, представленного в виде программного инструментария, предназначенного для решения одного класса задач стохастической оптимизации и их реализация.

Методы исследования: методы решения задач стохастической оптимизации, методы численной и поисковой оптимизации в условиях неопределенности, методы математического моделирования и оптимизации, методы модульного программирования и методы разработки специальных интерактивных программных средств.

Полученные результаты и их новизна: предложено специальное математическое и программное обеспечение, скомпонованное в виде интерактивного программного инструментария для решения класса задач стохастической оптимизации и методика ее реализации при оптимизации телекоммуникационных сетей и систем передачи данных.

Практическая значимость: программный инструментарий позволяет автоматизировать процессы моделирования закономерности поведения стохастических объектов и их оптимизацию.

Степень внедрения и экономическая эффективность: Результаты исследований приняты для использования при проектировании и эксплуатации СПД филиалом «UzNET» АК «Узбектелеком» и ГУП «UNICON.UZ». Ожидаемый экономический эффект от внедрения данного программного инструментария на районном уровне телекоммуникационной сети составляет 12.8 млн. сум в год.

Область применения: информационно-коммуникационные технологии, стохастические системы, процессы оптимизации систем передачи данных и сетей телекоммуникации.

RESUME

Thesis of Medetov Seytkamal Kuvatovich on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in technical sciences on speciality 05.13.11 – Mathematical and software support for computing machinery, systems, complexes and networks, subject: “Software tools to solve one class of stochastic optimization problems”.

Key words: stochastic optimization, software, software toolkit, optimization techniques, programming interface, interactive software, information flows, data transmission systems, telecommunication networks.

Subjects of research: the processes of the development of special software modules. Integration technology of software toolkits designed to solve the stochastic optimization problems and implementation of these toolkits in optimization of the telecommunication networks and the data transmission systems.

Purpose of work: development of special mathematical and software support presented in the form of software toolkits is designed to solve a class of stochastic optimization problems and their implementation.

Methods of research: Methods for solving stochastic tasks, numerical methods and search engine optimization under uncertainty, methods of mathematical modeling and optimization, modular programming techniques and methods to develop special interactive software.

The results obtained and their novelty: proposed special mathematical and software support arranged in the form of interactive software toolkit for solving a class of stochastic optimization problems and methods of implementation for optimization of telecommunications networks and data transmission systems.

Practical value: software toolkit allows automating the processes of modeling the behavior of stochastic objects and their optimization.

Degree of embed and economic effectivity: The results of research are accepted for use in the designing and operation of data transmission system in the «UZNET» branch of “Uzbek telecom” stock company and «UNICON.UZ» SUE. The expected affordability of the implementation of current software toolkit in telecommunication networks at the district level is 12.8 million sums per year.

Field of application: stochastic systems, processes of optimizing the data transmission systems and telecommunications networks.

