

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н.И.ЛОБАЧЕВСКОГО

УДК 681.3.06, 519.68

ББК 3 973.2-018

М 54

В.П. Гергель, Р.Г. Стронгин

АБСОЛЮТ

Программная система для исследований и изучения
методов глобальной оптимизации

Учебное пособие

М 54 Гергель В.П., Стронгин Р.Г. АБСОЛЮТ. Программная система для исследований и изучения методов глобальной оптимизации. Учебное пособие. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета, 1998. 141 с.

В учебном пособии описывается интегрированная программная система АБСОЛЮТ для проведения вычислительных экспериментов с методами глобального поиска с целью изучения и исследования основных понятий, подходов и алгоритмов в области глобальной оптимизации.

Для преподавателей, студентов и аспирантов, изучающих учебные дисциплины оптимизационного цикла.

Г $\frac{1602110000-452}{\text{М } 187(03)-98}$ без объявл. ББК 3 973.2-018

ISBN 5-85746-21-9

ИЗДАТЕЛЬСТВО НИЖЕГОРОДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
НИЖНИЙ НОВГОРОД
1998

© Гергель В.П., Стронгин Р.Г., 1998

Введение

Система АБСОЛЮТ представляет собой интегрированную программную систему для проведения вычислительных экспериментов с методами глобального поиска для ИЗУЧЕНИЯ и ИССЛЕДОВАНИЯ основных понятий, подходов и развитых на их основе методов в области ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ. Рассматриваемые в рамках теории глобального поиска *многоэкстремальные задачи оптимизации* являются предметом проведения интенсивных научных исследований и широко используются в практических приложениях при автоматизированном проектировании, решении задач идентификации и др.

АБСОЛЮТ принадлежит к классу систем для проведения вычислительных экспериментов (*систем имитации объектов и явлений на ЭВМ*), разработка которых является важным направлением создания новых технологий исследований в областях науки и техники [1-4].

Отличительной чертой системы АБСОЛЮТ является наличие всех необходимых средств для проведения вычислительных экспериментов. Используя АБСОЛЮТ, пользователь системы (*оптимизатор*) может осуществить постановку задачи оптимизации, выбрать оптимизационный алгоритм из числа реализованных в системе методов глобального поиска, установить графические индикаторы для наблюдения за процессом глобального поиска, выполнить различные эксперименты, получить и проанализировать результаты выполненных экспериментов. Эта полнота и ориентированность на новые технологии обучения отличает АБСОЛЮТ от других систем (таких, например, как Mathematica [5], LGO [6], СИМОП [7]).

Возможными сферами использования системы АБСОЛЮТ являются:

– *учебное применение* студентами и преподавателями вузов для исследований и изучения методов глобального поиска в рамках лабораторного практикума по учебным дисциплинам оптимизационного цикла (методы оптимизации, системный анализ, исследование операций и др.). При этом АБСОЛЮТ может

использоваться для демонстрации ряда важных понятий математики и вычислительной математики (последовательности, предельные точки, сходимости численного метода и др.). АБСОЛЮТ может также служить примером комплексного подхода к разработке системы имитации на ЭВМ;

– *научное использование* специалистами в области теории многоэкстремальной оптимизации для исследования эффективности разрабатываемых алгоритмов глобального поиска. При этом система может использоваться как средство подготовки и проведения научных демонстраций численного решения оптимизационных задач различными методами;

– *прикладное применение* техническими и научными работниками в качестве обучающей компоненты сложных профессиональных систем оптимизации.

Пользователи, начинающие знакомиться с проблематикой глобального поиска, найдут систему АБСОЛЮТ полезной для освоения методов многоэкстремальной оптимизации, опытные оптимизаторы могут использовать систему для оценки эффективности новых разрабатываемых алгоритмов глобального поиска.

ЧАСТЬ I.

Осваиваем основы

1. Общая характеристика системы

Возможности системы. АБСОЛЮТ является интегрированной программной средой для проведения вычислительных экспериментов с методами глобального поиска. Пользователю системы предоставляется возможность:

- *осуществить постановку задачи оптимизации* (минимизируемая функция может быть выбрана из стандартного набора, сгенерирована при помощи случайного датчика, задана формульным описанием или сформирована при помощи графического редактора);

- *выбрать алгоритм глобального поиска* из реализованных в системе методов оптимизации (АБСОЛЮТ содержит 10 многоэкстремальных алгоритмов, широко известных в теории и практике глобального поиска). В системе имеется возможность расширения набора методов внутренними средствами без использования универсальных алгоритмических языков программирования;

- *установить графические индикаторы* для наблюдения за процессом глобального поиска. Эти индикаторы позволяют демонстрировать график минимизируемой функции или ее кусочно-линейной аппроксимации, построенной на основании информации о значениях функции, вычисленных в ходе осуществленных итераций, а также распределение, плотность и последовательность точек итераций и значений функции в этих точках. Наблюдение за индикаторами в процессе поиска глобального минимума развивает интуицию, необходимую для практического применения и дальнейшего развития методов многоэкстремальной оптимизации;

- *выполнять эксперименты* последовательно или одновременно. Последний способ выполнения экспериментов позволяет наглядно сравнивать динамику поиска различными методами и реализуется в режиме разделения времени. Проведение серийных экспериментов, требующих длительных вычислений, может осуществляться в автоматическом режиме с возможностью запоминания результатов поиска для организации последующего анализа полученных данных. Выполнение экспериментов может осуществляться и в режиме *ручного поиска*, при котором оптимизатор указывает точки итераций самостоятельно (данный режим позволяет пользователю проверить различные предположения, которые могли бы быть положены в основу схем глобального поиска);

- *накапливать и анализировать результаты выполненных экспериментов*. АБСОЛЮТ позволяет формировать оценки эффективности (*операционные характеристики*) методов и обеспечивает ведение *журнала* экспериментов для записи результатов оптимизации. Накапливаемые данные могут быть представлены в различных обобщенных формах (таблицы, графики, диаграммы), удобных для проведения анализа. Результаты вычислений могут быть записаны в архив системы АБСОЛЮТ, напечатаны или скопированы в буфер обмена системы Windows в текстовой, графической или табличной формах и перемещены далее в текстовый редактор Word, систему электронных таблиц Excel и другие программы системы Windows для последующей обработки (в т.ч. для использования в подготавливаемых статьях, отчетах и т.п.).

Принципы построения. *Исследовательский аспект* применения системы является основополагающим, поскольку возможность проведения исследований является не только целью, но и принятым способом обучения в рамках системы АБСОЛЮТ. Процессам исследования и обучения способствуют также средства активизации интереса пользователей путем соревнования с автоматическими процедурами, введение возможностей управления развитием ситуаций, предоставление широкого множества вариантов при задании условий проведения вычислений, обеспечение легкости освоения системы, возможность получения справочной информации и защита от раздражающих и отвлекающих ошибок (типа неверного нажатия

клавиш и т.п.). Темп проведения вычислений может адаптироваться к скорости восприятия информации пользователем системы и т.п.

Исследование методов многоэкстремальной оптимизации в рамках системы АБСОЛЮТ основано на наблюдении и анализе *минимизирующих последовательностей*, генерируемых методами в процессе глобального поиска. Данные последовательности (например, в случае минимизации одномерных многоэкстремальных функций $f(x)$, $x \in [a, b]$) представляют собой множества точек итераций x^k , $k = 0, 1, 2, \dots$, в которых вычисляются значения минимизируемой функции $z^k = f(x^k)$. Выбор конкретной точки x^k , соответствующей k -й итерации для конкретного алгоритма при минимизации конкретной функции $f(x)$, определяется *решающими правилами* этого алгоритма. В общем случае правила задаются начальной точкой $x^0 \in [a, b]$ и множеством функций

$$x^{k+1} = g_k(x^0, \dots, x^k; z^0, \dots, z^k), \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

определяющих выбор последующих точек. Решающие правила дополняются *условием остановки*, которое прекращает итерации, т.е. отсекает соответствующие последовательности $\{x^k\}$ и $\{z^k\}$. Получаемые в результате усеченные последовательности используются для формирования *оценок глобального минимума* по значению функции

$$z_k^* = \min\{z^0, \dots, z^k\},$$

и по координате

$$x_k^* = \arg \min\{f(x^i) : x^i \in \{x^0, \dots, x^k\}\}.$$

Для построения решающих правил алгоритмов глобального поиска используются разнообразные теоретические модели или эвристические приемы, призванные либо обеспечить лучшую точность формируемых оценок при заданном количестве итераций, либо обеспечить требуемую точность с наименьшим количеством итераций. В рамках существующих подходов были получены вычислительные схемы, в которых следующая итерация выполняется в точке глобального минимума некоторой сконструированной нижней огибающей (или *миноранты*) минимизируемой функции, или в точке

глобального минимума математического ожидания значений функции (например, при рассмотрении функции как реализации винеровского случайного процесса) и др.

Минимизирующие последовательности, генерируемые алгоритмами глобального поиска, могут существенно отличаться характером расположения точек итераций в области поиска $[a, b]$. Для наиболее эффективных методов оптимизации плотность точек итераций в окрестности точки глобального минимума (и в окрестностях точек локальных минимумов с близкими к глобальному минимуму значениями функции) является более высокой. Тем самым, сравнение плотностей итераций в различных подынтервалах области поиска $[a, b]$ может способствовать обнаружению многих важных теоретических свойств алгоритмов глобального поиска. В результате такого анализа может быть показано, что, например, множество предельных точек последовательности совпадает с множеством (или с некоторым подмножеством) точек глобальных минимумов задачи оптимизации, или что все точки области поиска $[a, b]$ являются предельными точками любой минимизирующей последовательности, порождаемой исследуемым методом (последний случай имеет место, например, для метода полного перебора).

Важный вывод, к которому можно прийти в результате приведенных рассуждений, состоит в том, что минимизирующие последовательности могут быть рассмотрены *как основа для анализа* свойств метода оптимизации. Эти последовательности отражают характер исходных предположений, использованных при построении алгоритма. Как результат, визуальное представление минимизирующих последовательностей в темпе, удобном для человеческого восприятия, ускоряет и углубляет понимание теории глобальной оптимизации и развивает интуицию, необходимую для практического применения и дальнейшего развития методов многоэкстремальной оптимизации. Многие теоретические понятия (такие, например, как последовательность, предельные точки, монотонная и немонотонная сходимость, условие Липшица и др.) могут иметь наглядную визуальную интерпретацию в свойствах демонстрируемых последовательностей. Отмеченные обстоятельства позволяют выявить взаимосвязи между ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМИ и ПРИКЛАДНЫМИ

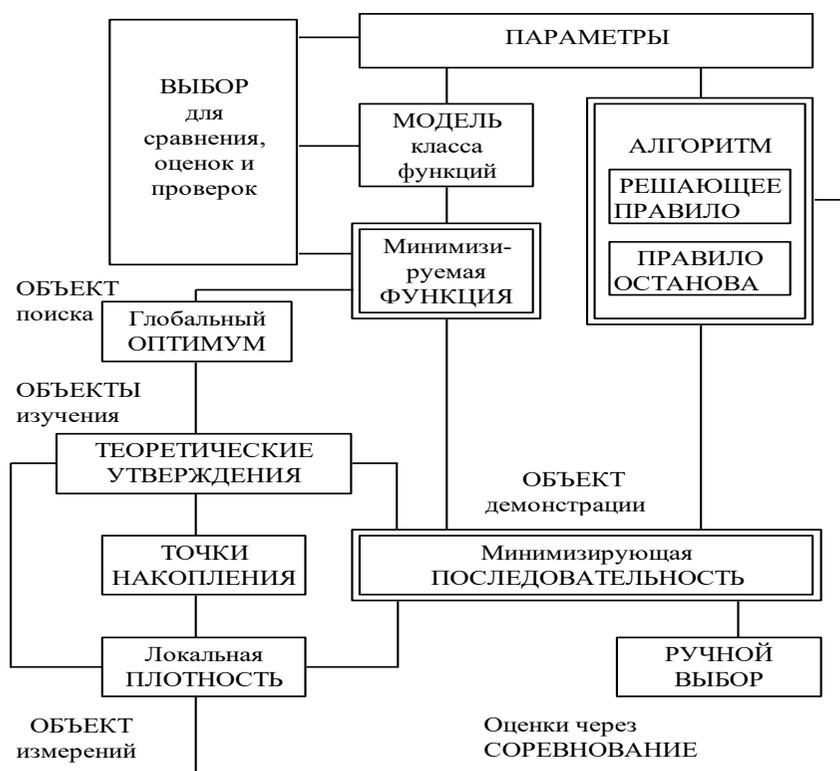


Рис. 1. Основные понятия и положения, отраженные в сценариях работы системы АБСОЛЮТ

асpekтами понятий, изучаемых в рамках системы АБСОЛЮТ. Наличие таких связей имеет принципиальное значение, ибо, с одной стороны, глубокое понимание любого частного положения опирается на фундаментальные представления, а с другой стороны, надлежащее освоение фундаментальных представлений достигается и углубляется при знакомстве с частными положениями. Основной набор понятий и положений, изучаемый в рамках системы АБСОЛЮТ, представлен на рис. 1.

Система обеспечивает набор графических форм (траектории поиска, показатели плотности, датчик точности и др.), дающих визуальные образы минимизирующих последовательностей в процессе

их генерации. Представление диаграмм осуществляется в темпе, согласованном со скоростью реакции, наблюдательностью и другими возможностями конкретного обучаемого. Наблюдение за диаграммами обеспечено механизмом "увеличительного стекла" для более точного анализа строения последовательностей в окрестностях точек минимумов. Система обеспечивает возможность сравнения различных алгоритмов путем одновременного показа нескольких последовательностей. Кроме того, в системе имеется возможность организации состязания пользователя с методами автоматической оптимизации в режиме ручного поиска, в ходе которого обучаемый может сформировать свою собственную модель поведения минимизируемой функции и применить ее при выборе точек итераций.

Многочисленное применение конкретного метода для решения множества различных задач позволяет сформировать концепцию наихудшего случая (т.е. функции, оптимизация которой данным методом наименее эффективна) и построить оценки эффективности алгоритмов в этом случае. Это, в свою очередь, приводит к другой важной идее построения метода, демонстрирующего наилучшие показатели в наихудшем случае (*минимаксный* подход). В результате воспитывается также понимание, что эксперименты с ограниченным набором тестовых функций недостаточны для оценки надежности алгоритма. Система обеспечивает изучение указанных аспектов, являющихся общими для большинства задач вычислительной математики, при помощи построения *операционных характеристик*, которые указывают для каждого количества итераций соответствующую вероятность нахождения глобального минимума с требуемой точностью. Оценка подобных вероятностей в рамках системы АБСОЛЮТ осуществляется по итогам минимизации большого количества случайно генерируемых функций. Операционные характеристики являются новым подходом для сравнения алгоритмов по результатам выполненных экспериментов и могут быть использованы также для начального ознакомления с основными положениями исследования операций в области сложных задач выбора.

Реализуемые системой АБСОЛЮТ процессы изучения и исследований ориентированы на активное освоение основных теоретических положений и способствуют формированию у обучаемых своих собственных представлений о моделях и методах

глобальной оптимизации путем наблюдения, сравнения и сопоставления широкого набора различных визуальных графических форм, демонстрируемых в ходе выполнения вычислительных экспериментов. Эти черты системы АБСОЛЮТ позволяют охарактеризовать ее как *образовательную среду, обеспечивающую интенсификацию индуктивной и дедуктивной активности обучаемого.*

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. Правила установки системы АБСОЛЮТ и требования к техническим характеристикам ПЭВМ приведены в приложении 1.

2. Для запуска выделите пиктограмму системы и выполните двойной щелчок левой кнопкой мыши (или нажмите клавишу Enter).

Задания и упражнения:

Для выполнения примера, имеющегося в комплекте поставки системы:

- выберите пункт меню **Начало** и выполните команду **Загрузить пакет заданий**;
- выберите строку **start.ops** в списке имен файлов и нажмите кнопку **Открыть**;
- выберите пункт меню **Эксперимент** и выполните команду **Показать все**;
- выберите пункт меню **Поиск** и выполните команду **Во всех окнах**;

В результате выполненных действий на экране дисплея должно быть представлено 4 окна для выполнения вычислительных экспериментов. В этих окнах в режиме разделения времени демонстрируется решение задачи многоэкстремальной оптимизации одновременно несколькими методами. При появлении окна с сообщением "**Выполнено условие останова**" нажмите кнопку **ОК**; для завершения работы системы выберите пункт меню **Архив** и выполните команду **Завершить**.

В разработках пилотных вариантов программных средств системы АБСОЛЮТ принимали участие выпускники кафедры математического обеспечения ЭВМ факультета вычислительной математики и кибернетики Нижегородского государственного

университета им. Н.И.Лобачевского С.В. Горохов, Д.Л. Маркин, А.Ю. Булатов, А.В. Тропичев (вклад последнего является значительным - один из пилотных вариантов был его выпускной работой). Авторы пособия выражают благодарность своим коллегам за совместную плодотворную работу.

Научные основы разработки системы АБСОЛЮТ и методические принципы ее использования описаны в [4, 23-28]. Вариант системы для IBM совместимых ПЭВМ под управлением MS DOS зарегистрирован в ОФАП № 025.7000.289 и в ЦИФ ГосФАП № 50920000060 [27-28]. Система демонстрировалась на многих научных конференциях и выставках (Международная конференция по глобальной оптимизации, Сегед, Венгрия, 1995, Международная выставка СеВIT-95, Ганновер, Германия, 1995, Международная конференция по дистанционному образованию, Москва, 1996, и др.).

Система АБСОЛЮТ широко используется в учебном процессе Нижегородского госуниверситета и в ряде вузов России (Москва, Нижний Новгород, Казань, Самара, Ярославль и др.) и за рубежом (Технический университет Дании, университет г. Трир (Германия), университет г. Бредфорда (Англия) и др.).

Система АБСОЛЮТ функционирует на IBM совместимых ПЭВМ под управлением операционных систем MS DOS и Windows. Имеется вариант системы для глобальной сети Internet, доступный по адресу

<http://www.unn.ac.ru/absolut/rus>

2. Постановка задач многоэкстремальной оптимизации

Используя систему АБСОЛЮТ, можно решать задачи оптимизации вида

$$f(x) \rightarrow \min, x \in [a, b], \quad (1)$$

где $f(x)$ есть минимизируемая (целевая) функция, которая может иметь несколько локальных минимумов, и интервал $[a, b]$ есть область поиска. Задача (1) обычно называется одномерной *многоэкстремальной задачей оптимизации*.

В рамках системы АБСОЛЮТ под решением задачи (1) понимается нахождение оценки x_ε^* точки глобального минимума x^* функции $f(x)$ с некоторой заданной точностью ε , т.е.

$$|x_\varepsilon^* - x^*| \leq \varepsilon \quad (2)$$

Предполагается, что рассматриваемые функции $f(x)$ удовлетворяют *условию Липшица*, т.е. должны выполняться неравенства

$$|f(x_1) - f(x_2)| \leq L|x_1 - x_2| \text{ для любых } x_1, x_2 \in [a, b], \quad (3)$$

где L есть константа Липшица. Выполнимость условия Липшица означает ограниченность вариации значения функции при изменении значения ее параметра, что позволяет устанавливать гарантированные оценки снизу для значений минимизируемой функции в точках области поиска глобального минимума по результатам проведенных итераций. Так, например, можно показать, что для любой точки $x \in [x_1, x_2]$

$$f(x) \geq \max\{z_1 - L(x - x_1), z_2 - L(x_2 - x)\},$$

где $z_1 = f(x_1)$ и $z_2 = f(x_2)$ есть значения функции в точках x_1 и x_2 .

Предположение о выполнимости условия Липшица для минимизируемых функций послужило основой для построения многих

эффективных методов многоэкстремальной оптимизации (обзор методов приведен, например, в [8]). Следует заметить, что для некоторых таких алгоритмов (например, для метода Пиявского [9]) требуется знание значения константы Липшица априори. Для других же методов (таких, например, как алгоритм Стронгина [10]) значение константы Липшица оценивается по результатам значений функции, вычисленных в процессе оптимизации.

Система АБСОЛЮТ обеспечивает несколько различных способов постановки задач многоэкстремальной оптимизации. Целевая функция может быть выбрана из стандартного набора тестовых задач, широко используемых в литературе по глобальной оптимизации (в системе используется набор, собранный в [11]). Минимизируемая функция может также быть задана с помощью формульного выражения или сгенерирована случайным механизмом как это описано ниже. Функция, заданная любым из перечисленных способов, может быть далее преобразована при помощи имеющегося в составе системы графического редактора.

Случайно генерируемые многоэкстремальные функции формируются в результате случайного выбора среди задач двух функциональных семейств, определяемых следующими выражениями:

- семейство функций Шекеля [12]:

$$f(x) = -\sum_{i=1}^{10} \frac{1}{(K_i(x - A_i)^2 + C_i)} \quad \text{при } 0 \leq x \leq 10,$$

- семейство функций Хилла и Гибсона [13]:

$$f(x) = A_0 + \sum_{i=1}^{14} (A_i \sin(2i\pi x) + B_i \cos(2i\pi x)) \quad \text{при } 0 \leq x \leq 1.$$

Выбор функционального семейства и определение значений коэффициентов в формулах реализуется при помощи генератора псевдослучайных чисел. Примеры случайно сгенерированных задач приведены на рис. 2.

Графическое редактирование любой выбранной функции обеспечивается графическим редактором, имеющимся в составе системы АБСОЛЮТ. При выполнении редактирования минимизируемая функция заменяется на ее аппроксимацию в виде гладкого кубического сплайна [14], формируемого по набору точек, равномерно распределенных по области поиска. Любое изменение

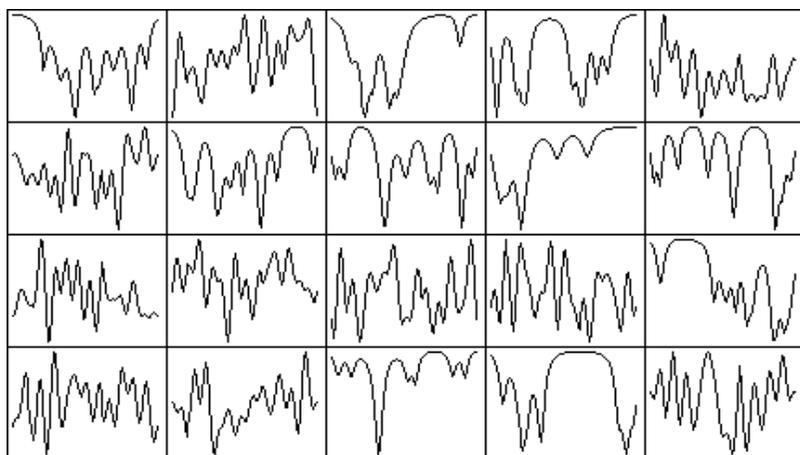


Рис. 2. Примеры случайно генерируемых функций

функции в рамках графического редактора выполняется как соответствующее изменение значений функции в точках сетки аппроксимации.

Следует отметить, что все перечисленные способы задания функций просты в использовании и позволяют сформировать сложную одномерную задачу многоэкстремальной оптимизации с желаемыми характеристиками (наличие "плато", "широкие" и "узкие" минимумы, "осцилляции" и т.п.).

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Запуск системы.** Для запуска системы АБСОЛЮТ выделите пиктограмму системы и выполните двойной щелчок левой кнопкой мыши (или нажмите клавишу Enter). Далее выполните команду **Выполнить новый эксперимент** (пункт меню **Начало**) и нажмите в диалоговом окне **Введите название эксперимента** кнопку **ОК** (при желании до нажатия кнопки **ОК** может быть изменено названия создаваемого окна для проведения экспериментов).

2. **Стандартный набор.** Для выбора функции из стандартного набора выберите пункт меню **Задача** и выполните команду **Стандартный набор**. Далее в диалоговом окне **Выбор стандартной функции** (см. Рис. 3) выделите мышкой пиктограмму желаемой

функции и нажмите кнопку **Выбрать** (при нажатии кнопки **Помощь** можно получить справочную информацию с формульным описанием выделенной функции и ссылкой на источник постановки задачи).



Рис. 3. Диалоговое окно для выбора функции из стандартного набора

3. **Формульное задание.** Для задания функции при помощи формульного описания выполните команду **Формульное задание** (пункт меню **Задача**). Далее в диалоговом окне **Формульное задание функции** (см. Рис. 4) задайте в строке ввода **Формула** формульное выражение. В строках ввода **Левая граница** и **Правая граница** указываются граничные точки области поиска $[a,b]$. Для примера, первая функция из стандартного набора может быть задана формулой $\sin(x) + \sin(10 \cdot x/3)$ с границами области 2.7 и 7.5 . По умолчанию, в строках ввода содержится описание задачи

$$\min \{x^2 - \cos(18x): -0.5 \leq x \leq 1.5\}.$$

Для завершения формульного задания нажмите кнопку **Выбрать**. При обнаружении ошибок в задании формулы и границ области поиска система выдает диагностические сообщения - в этом случае следует нажать кнопку **ОК** и исправить допущенные ошибки. Получение справочной информации по правилам набора происходит при нажатии кнопки **Помощь**. Отказ от формульного задания осуществляется при нажатии кнопки **Отмена**.

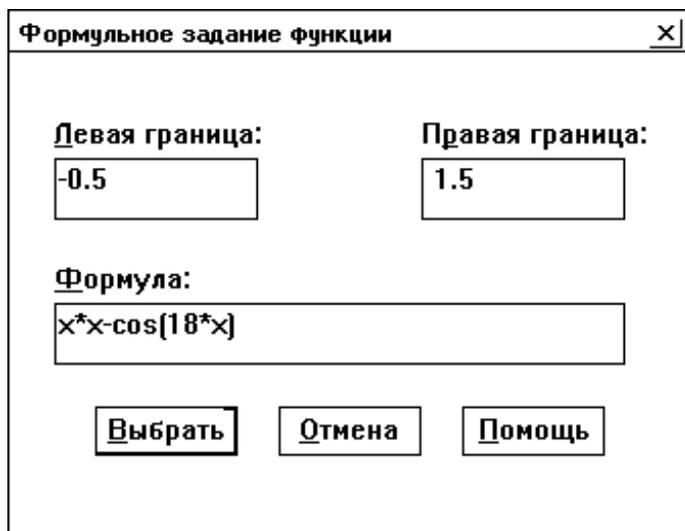


Рис. 4. Диалоговое окно для формульного задания функции

При наборе значений в строках ввода могут быть использованы:

- клавиши перемещения курсора влево и вправо;
- клавиши удаления символа BACKSPACE и DEL;
- клавиши перемещения курсора в начало и конец строки HOME и END.

При задании формульного выражения могут быть использованы:

- числовые значения;
- знаки арифметических операций +, -, *, /, ^ (возведение в степень);
- элементарные функции:
 - sin - синус угла,
 - cos - косинус,
 - tan - тангенс,
 - atan - арктангенс,
 - log - натуральный логарифм,
 - sqrt - квадратный корень,
 - exp - экспонента,
 - sh - гиперболический синус,

ch - гиперболический косинус,
 abs - модуль числа,
 sign - знак числа.

- условный оператор, формат записи которого имеет вид
 if условие then выражение1 else выражение2.

Примеры записи формульных выражений:

1. $\sin(x) + \sin(10 * x / 3)$
2. $-(x + \sin(x)) * \exp(-x^2)$
3. *if* (x > 2) *then* 2 * ln(x - 2) + 1 *else* (x - 2)^2

4. **Случайный датчик.** Для генерации функции при помощи описанного выше случайного механизма выполните команду **Случайный датчик** (пункт меню **Задача**).

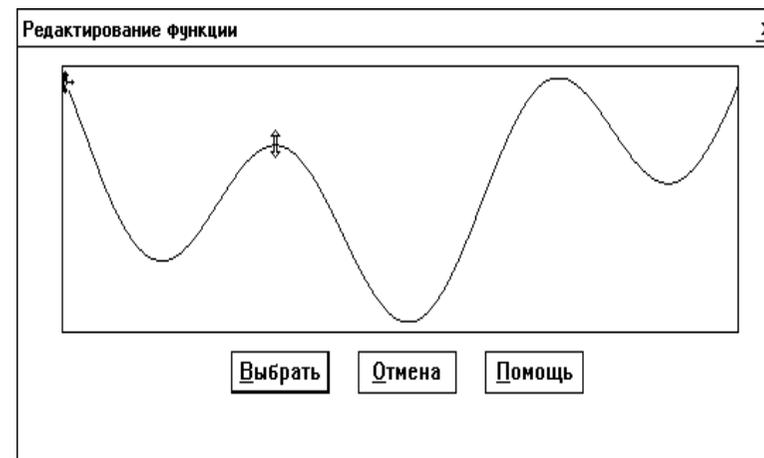


Рис. 5. Диалоговое окно редактирования функции

5. **Графическое редактирование.** Для графического редактирования выбранной ранее функции выполните команду **Графическое редактирование** (пункт меню **Задача**). В результате появится диалоговое окно **Редактирование функции**, содержащее график выбранной функции (см. Рис. 5). Укажите мышкой точку графика, в которой необходимо провести изменение значения

функции, нажмите левую кнопку мыши (при правильном выполнении действий курсор мыши должен измениться на двунаправленную вертикальную стрелку) и, не отпуская кнопки мыши, переместите мышь в направлении желаемого (вверх или вниз) смещения части дуги графика. После получения желаемого результата отпустите кнопку мыши. Описанные действия по редактированию функции могут быть выполнены повторно. Возможен отказ от результатов редактирования путем нажатия кнопки **Отмена**.

6. **Завершение работы системы.** Для завершения работы системы АБСОЛЮТ следует выполнить команду **Завершить** (пункт меню **Архив**).

 *Задания и упражнения:*

1. Выполните генерацию нескольких многоэкстремальных задач при помощи случайного датчика. Сравните получаемые функции.

2. Выполните постановку задачи оптимизации

$$\min f(x), \quad f(x) = \begin{cases} (x-2)^2, & x \leq 3, \\ 2\ln(x-2) + 1, & x > 3, \end{cases} \quad x \in [0,6]$$

при помощи формульного описания.

3. Выберите функцию 2 из стандартного набора и выполните ее редактирование. Обратите внимание на изменение графика функции, связанное с переходом в графическом редакторе к представлению редактируемой функции в виде гладкого кубического сплайна.

3. Выбор метода многоэкстремальной оптимизации

Для целей обучения и для проведения исследований АБСОЛЮТ содержит набор известных численных методов оптимизации, включающий как простые схемы (такие, как метод перебора (на равномерной сетке) и случайный алгоритм), так и поисковые процедуры, использующие сложную обработку результатов вычислений. Все методы оптимизации, реализованные в системе, представлены в соответствии с общей схемой, получившей название *характеристической* (см. [10, 15]). Единая форма представления методов позволяет рассматривать их с некоторых общих позиций (некоторые другие схемы, также предложенные в целях унификации исследований, можно найти в [6, 16]).

3.1. Общая схема метода оптимизации

Согласно схеме, сформированной в [10], численный метод глобального поиска может быть представлен как итерационная процедура, обеспечивающая построение минимизирующей последовательности $\{x^k\}$, причем каждая итерация (шаг поиска) включает в себя следующие действия:

- определение точки очередной итерации поиска;
- вычисление значения минимизируемой функции;
- построение оценки глобального экстремума;
- проверку условия остановки.

3.2. Схема характеристической представимости

Численный метод оптимизации принадлежит *классу характеристических алгоритмов*, если вычислительная схема метода может быть описана следующим образом.

В начале поиска значения $z^1 = f(a)$ и $z^2 = f(b)$ минимизируемой функции $f(x)$ вычисляются в граничных точках $x^1 = a$ и $x^2 = b$ области поиска $[a, b]$ (вычисления значений функции будут далее именоваться *испытаниями*). Пусть реализовано k итераций ($k > 2$), которые привели к выбору точек испытаний x^1, \dots, x^k и вычислению значений функции z^1, \dots, z^k , $z^i = f(x^i)$, $1 \leq i \leq k$, в этих точках. Выполнение очередной ($k + 1$)-ой итерации поиска осуществляется в соответствии со следующими правилами.

1) Координаты точек испытаний, выполненных на предшествующих итерациях, перенумеровываются нижним индексом в порядке возрастания, т.е.

$$a = x_1 < x_2 < \dots < x_{k-1} < x_k = b;$$

2). Каждому интервалу (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$, ставится в соответствие некоторое число $R(i)$, называемое *характеристикой* этого интервала; в общем случае, $R(i)$ зависит от координат x^i , $1 \leq i \leq k$, и результатов испытаний z^i , $1 \leq i \leq k$;

3). Выбирается интервал (x_{t-1}, x_t) , $1 < t \leq k$, которому соответствует максимальная характеристика $R(t)$, т.е.

$$R(t) = \max_{1 < i \leq k} R(i);$$

4). Проверяется *условие остановки*

$$x_t - x_{t-1} \leq \varepsilon,$$

где $\varepsilon > 0$ есть заданная точность поиска по координате, и, если условие остановки выполнено, поиск завершается; в противном случае выполнение итерации продолжается (правила 5-8);

5). Очередное испытание x^{k+1} размещается в интервале (x_{t-1}, x_t) , $1 < t \leq k$, согласно некоторому правилу $S(t)$, т.е.

$$x^{k+1} = S(t) \in (x_{t-1}, x_t);$$

6). Вычисляется значение $z^{k+1} = f(x^{k+1})$;

7). Определяется *оценка экстремума* (приближенное значение минимума)

$$z_k^* = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i), \quad x_k^* = \arg \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i);$$

8). Номер итерации k увеличивается на единицу и реализуется новая итерация.

В качестве возможной интерпретации характеристической схемы мы можем рассматривать характеристику $R(i)$ как меру возможности расположения точки глобального минимума в интервале (x_{i-1}, x_i) . Конкретные варианты этой меры строятся в соответствии с теми или иными априорными предположениями о характере минимизируемой функции. Большинство известных методов глобальной оптимизации может быть сформулировано в соответствии с характеристической схемой (в частности, это является справедливым для всех методов, реализованных в системе АБСОЛЮТ).

Следует заметить, что вместо требования (2), в котором используется неизвестная точка глобального минимума, условие остановки в характеристической схеме основано на оценке длины подинтервала с максимальной характеристикой (см. правило 4 схемы выполнения итерации поиска). Допустимость такой замены должна обосновываться соответствующей теорией.

3.3. Алгоритмическое наполнение системы

АБСОЛЮТ содержит широкий набор известных методов глобального поиска:

- метод перебора (на равномерной сетке) с последовательно уменьшающимся шагом сетки;
- случайный (Монте-Карло) алгоритм;
- метод Пиявского [9];
- одношаговые байесовские методы, предложенные Кушнером [17] и Жилинским [12];
- информационные алгоритмы, предложенные Стронгиним (включая модификации Маркина и Сергеева) [18, 19].

Все перечисленные методы основываются на различных математических моделях, но представлены в единой

характеристической схеме. Характеристики интервалов и правила вычисления точек итераций в этих методах могут быть представлены следующим образом:

- **метод полного перебора**

$$R(i) = x_i - x_{i-1}, \quad x^{k+1} = 0.5(x_{i-1} + x_i);$$

- **алгоритм случайного поиска (Монте-Карло)**

$$R(i) = (x_i - \xi)(\xi - x_{i-1}), \quad x^{k+1} = \xi,$$

где ξ есть значение (реализация) случайной величины, равномерно распределенной в интервале $[a, b]$;

- **метод ломаных (Пиявского) [9]**

$$R(i) = 0.5M(x_i - x_{i-1}) - 0.5(z_i + z_{i-1}),$$

$$x^{k+1} = 0.5(x_{i-1} + x_i) - 0.5(z_i - z_{i-1}) / M,$$

где M есть параметр метода (оценка константы Липшица);

- **алгоритм глобального поиска (Стронгина) [10]**

$$R(i) = m(x_i - x_{i-1}) + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{m(x_i - x_{i-1})} - 2(z_i + z_{i-1}),$$

$$x^{k+1} = 0.5(x_{i-1} + x_i) - 0.5(z_i - z_{i-1}) / m,$$

где m есть оценка константы Липшица, адаптивно определяемая в процессе вычислений;

- **метод Кушнера [17]**

$$R(i) = -\frac{4(z_k^* - \gamma - z_{i-1})(z_k^* - \gamma - z_i)}{(x_i - x_{i-1})},$$

$$x^{k+1} = x_{i-1} + \frac{(x_i - x_{i-1})(z_k^* - \gamma - z_{i-1})}{2(z_k^* - \gamma) - z_i - z_{i-1}},$$

где γ есть параметр метода, а z_k^* есть оценка наименьшего значения функции;

- **одношаговый байесовский алгоритм (Жилинскаса) [12]**

$$R(i) = \max\{Q(x): x \in [x_{i-1}, x_i]\},$$

$$x^{k+1} = \arg \max\{Q(x): x \in [x_{i-1}, x_i]\},$$

где

$$Q(x) = \sigma_k(x) \int_{-\infty}^{d_k(x)} \Pi(z) dz, \quad \Pi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \ell^{-\frac{u^2}{2}} du,$$

$$d_k(x) = \frac{z_k^* - m_k(x)}{\sigma_k(x)}, \quad \sigma_k(x) = \sigma \sqrt{\frac{(x - x_{i-1})(x_i - x)}{(x_i - x_{i-1})}},$$

$$m_k(x) = \frac{z_i(x - x_{i-1}) + z_{i-1}(x_i - x)}{(x_i - x_{i-1})},$$

где σ есть параметр метода, а z_k^* есть оценка наименьшего значения функции.

Дадим ряд замечаний для методов оптимизации, реализованных в системе АБСОЛЮТ:

– для метода Пиявского параметр M , $M > 0$, используется как оценка константы Липшица. Характеристика интервала $R(i)$ для этого метода представляет оценку (с обратным знаком) наименьшего значения минимизируемой функции $f(x)$ в интервале (x_{i-1}, x_i) (при данном значении величины M), а точка новой итерации поиска выбирается в интервале, в котором содержится оценка наименьшего значения миноранты функции $f(x)$ во всей области поиска $[a, b]$;

– методы Кушнера и Жилинскаса были разработаны в рамках подхода, при котором минимизируемая функция рассматривается как реализация винеровского случайного процесса. Для метода Кушнера в точке x^{k+1} максимальна вероятность события

$$f(x) \leq z_k^* - \gamma(z_k^+ - z_k^*),$$

где z_k^+, z_k^* есть оценки соответственно наибольшего и наименьшего значений функции. Для метода Жилинскаса x^{k+1} есть точка, в которой



Рис. 6. Диалоговое окно для выбора метода оптимизации

ождается максимум среднего улучшения текущей оценки глобального минимума (в системе АБСОЛЮТ метод Жилинскаса представлен программой, разработанной автором метода);

– алгоритм Стронгина разработан в рамках информационно-статистического подхода к задачам глобальной оптимизации [10]; следует отметить, что этот метод включает схему адаптивной оценки константы Липшица, определяемую соотношениями

$$m = \begin{cases} 1, & M = 0, \\ rM & M > 0, \end{cases} \quad M = \max_{1 < i \leq k} \frac{|z_i - z_{i-1}|}{(x_i - x_{i-1})},$$

где величина r , ($r > 1$), является *параметром метода*; в системе АБСОЛЮТ алгоритм Стронгина представлен несколькими модификациями метода.

Всего система содержит набор из 10 методов глобального поиска. Более подробное описание методов приведено в части 2 пособия.

3.4. Включение в состав системы нового метода

Набор методов оптимизации, реализованный в системе, может быть дополнен новым алгоритмом глобального поиска, если он представим в рамках характеристической схемы. Для задания нового метода в соответствии с характеристической схемой следует указать *характеристику интервала и правило для вычисления точек итераций* в виде соответствующих формульных выражений (см. ниже пункт **Задание нового метода** в правилах использования системы).

 *Правила использования системы АБСОЛЮТ:*

1. **Выбор метода.** Для выбора метода оптимизации выполните команду **Стандартный метод** (пункт меню **Метод**). Далее в появившемся для исполнения команды диалоговом окне **Выбор метода** (см. Рис. 6) следует указать мышкой название нужного метода и нажать левую кнопку мыши (при правильном выполнении действий в стоящей перед названием метода круглой кнопке выбора должна появиться темная точка). Для выбранного метода можно получить справочную информацию (кнопка **Помощь**); для завершения выбора следует нажать кнопку **Выбрать**.

2. **Оптимизация.** Для численного решения задачи оптимизации выберите пункт меню **Поиск** и выполните команду **В активном окне**.

3. **Задание параметров.** Для задания параметров выбранного метода оптимизации выполните команду **Параметры** (пункт меню **Метод**). В появившемся для исполнения команды диалоговом окне **Задание параметров** (см. Рис. 7) каждый параметр метода представлен шкалой значений; справа от шкал значений указаны текущие значения параметров. Для установки желаемого значения параметра следует указать мышью бегунок (серый квадратик) шкалы значений параметра, нажать левую кнопку и, не отпуская кнопки, переместить бегунок для уменьшения (влево) или увеличения (вправо) значения параметра. Переустановка значения параметра произойдет в момент отпускания кнопки мыши. Для получения пояснений по назначению параметров метода следует нажать кнопку **Помощь**; для завершения выбора используется кнопка **Выбрать**.



Рис. 7. Диалоговое окно для задания параметров

4. **Задание нового метода.** Для задания нового метода оптимизации выполните команду **Новый метода** (пункт меню **Метод**). В появившемся для исполнения команды диалоговом окне **Конструирование нового метода** (см. Рис. 8) представлены строки ввода для задания параметров, характеристики и правила выбора новой точки. По умолчанию в строках ввода заданы формульные выражения, описывающие алгоритм глобального поиска (Стронгина). При задании формульных выражений следует использовать следующие обозначения:

- **x1, x2** - левая и правая граничные точки текущего интервала (т.е. точки x_{i-1} и x_i);
- **z1, z2** - значения функции в левой и правой граничных точках текущего интервала (т.е. значения z_{i-1} и z_i);
- **zm** - минимальное из всех вычисленных в ходе поиска значений функции;
- **pm** - оценка константы Липшица, построенная по результатам проведенных итераций (величина M из (4));
- **pa** - параметр метода, задаваемый в поле **Параметры** как числовое значение.

Для примера, характеристика метода Пиявского с учетом приведенных обозначений должна быть задана следующим образом:

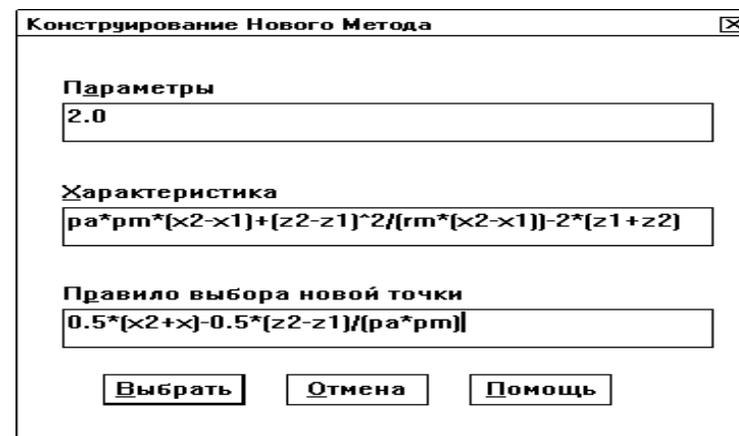


Рис. 8. Диалоговое окно для конструирования нового метода

$$R(i) = 0.5 * pa * (x2 - x1) - 0.5 * (z2 + z1).$$

Дополнительная справочная информация может быть получена при нажатии кнопки **Помощь**; для завершения задания метода следует нажать кнопку **Выбрать**.

Задания и упражнения:

1. Выполните установленный по умолчанию алгоритм глобального поиска (Стронгина) при помощи команды **В активном окне** пункта меню **Поиск** (при появлении окна с сообщением "**Выполнено условие остановки**" нажмите кнопку **ОК**). Запомните количество выполненных итераций поиска, указанное в информационном табло окна эксперимента.

2. Измените значение коэффициента надежности (установите, например, значение 2.5) и повторите выполнение метода. Сравните количество выполненных итераций в проведенных экспериментах.

3. Выполните команду **Новый метод** (без изменения установленных по умолчанию формульных выражений). Проведите решение задачи оптимизации при помощи метода, определяемого этими формульными выражениями. Результаты эксперименты должны

совпасть с результатами исполнения алгоритма глобального поиска (Стронгина).

4. Определение графических форм наблюдения за процессом поиска

Как уже было отмечено ранее, минимизирующие последовательности могут быть рассмотрены как источник информации для анализа свойств метода оптимизации; эти последовательности отражают характер исходных предположений, использованных при построении алгоритма, поведение конкретной минимизируемой функции. Как результат, визуальное представление минимизирующих последовательностей в темпе, удобном для человеческого восприятия, ускоряет и углубляет понимание теории глобальной оптимизации и развивает интуицию, необходимую для практического применения и дальнейшего развития методов многоэкстремальной оптимизации. Многие теоретические понятия (такие, например, как последовательность, предельные точки, монотонная и немонотонная сходимости, условие Липшица и др.) могут иметь наглядную визуальную интерпретацию в свойствах демонстрируемых последовательностей.

К основным характеристикам минимизирующих последовательностей, исследование которых представляется целесообразным при изучении методов оптимизации, относятся множества предельных точек, плотности точек итераций в различных подынтервалах области поиска $[a, b]$, сходимости к точкам глобального минимума и др. Система АБСОЛЮТ обеспечивает набор графических форм (траектории поиска, показатели плотности, датчик точности и др.), дающих визуальные образы минимизирующих последовательностей в процессе их генерации. Представление диаграмм осуществляется в темпе, согласованном со скоростью реакции и наблюдательностью конкретного обучаемого. Наблюдение за диаграммами может выполняться при использовании механизма "увеличительного стекла" для анализа расположения точек в малых подынтервалах области поиска (например, в окрестностях точек минимумов или предельных точек).

К числу имеющихся в составе системы АБСОЛЮТ относятся следующие графические формы наблюдения за процессом глобального поиска.

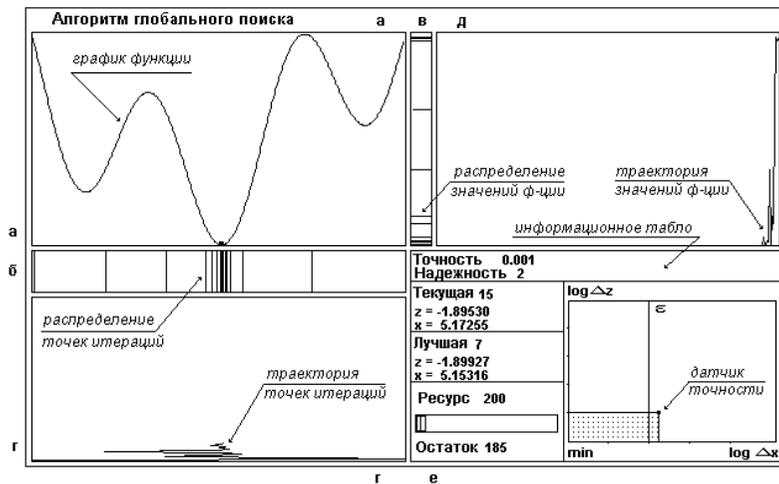


Рис. 9. Вид окна оптимизации: (а) график функции, (б) распределение точек итераций, (в) распределение значений функции, (г) траектория точек итераций, (д) траектория значений функции, (е) информационное табло

4.1. График минимизируемой функции

Многоэкстремальная функция, выбранная пользователем для минимизации, показывается на экране дисплея в процессе глобального поиска в виде графика функции (Рис. 9а) либо в виде графика кусочно-линейной аппроксимации (Рис. 10а) этой функции (для получения аппроксимации функции используются точки выполненных итераций поиска). Заметим, что при решении реальной прикладной задачи график неизвестной функции наблюдать невозможно, но можно наблюдать ее вычисленные значения и построенную по ним кусочно-линейную аппроксимацию.

Шкала графика кусочно-линейной аппроксимации по оси ординат автоматически изменяется таким образом, что минимальное и максимальное значения совпадают соответственно с текущими минимальной и максимальной оценками значений минимизируемой функции, полученными в ходе выполнения итераций.

4.2. Диаграммы распределения точек итераций

Диаграммы данного типа создаются с помощью вертикальных и горизонтальных штрихов, отмечающих координаты точек итераций x^k (распределение точек итераций - см. Рис. 9б) и соответствующие им значения функции $z^k = f(x^k)$, вычисленные в этих точках (распределение значений функции - см. Рис. 9в). Формирование диаграмм осуществляется динамически (добавление штрихов, соответствующих точкам минимизирующей последовательности, производится по мере выполнения итераций поиска). Наличие подобных графических форм способствует визуальному определению предельных точек минимизирующих последовательностей, оценок плотности точек испытаний в окрестности глобального минимума и др.

4.3. Диаграммы траекторий глобального поиска

Данные графические формы используются для демонстрации порядка выполнения итераций поиска. *Траектория точек испытаний* (Рис. 9г) представляет собой кусочно-ломаную линию (направленную снизу вверх), вершины которой определяются парами (x^k, k) , где x^k есть итерационная точка, выбранная методом на итерации k . *Траектория значений функции* (Рис. 9д) представляет собой кусочно-ломаную линию (направленную справа налево), вершины которой определяются парами (z^k, k) , где z^k есть значение функции в точке x^k , т.е. $z^k = f(x^k)$. Наличие таких форм обеспечивает наблюдение за развитием оптимизационного процесса, определение стадий глобального поиска (нахождение области притяжения глобального минимума, поиск в окрестности глобального минимума для уточнения текущей оценки) и др.

4.4. Диаграммы плотности точек испытаний

Диаграмма плотности точек итераций (Рис. 10б) представляет собой столбиковую гистограмму, столбики которой характеризуют количество точек итераций в разных подынтервалах области поиска (чем больше высота столбика, тем больше количество точек в подынтервале). Для диаграммы плотности значений функции (Рис. 10в) полосы диаграммы направлены справа налево и характеризуют частоты вычисления различных значений минимизируемой функции (вертикальная шкала гистограммы представляет диапазон возможных значений минимизируемой функции). Наличие диаграмм плотности может оказаться полезным при оценке равномерности расположения точек испытаний или концентрации этих точек в окрестности глобального минимума, при определении относительного количества точек итераций поиска в интервалах с большими значениями минимизируемой функции и др.

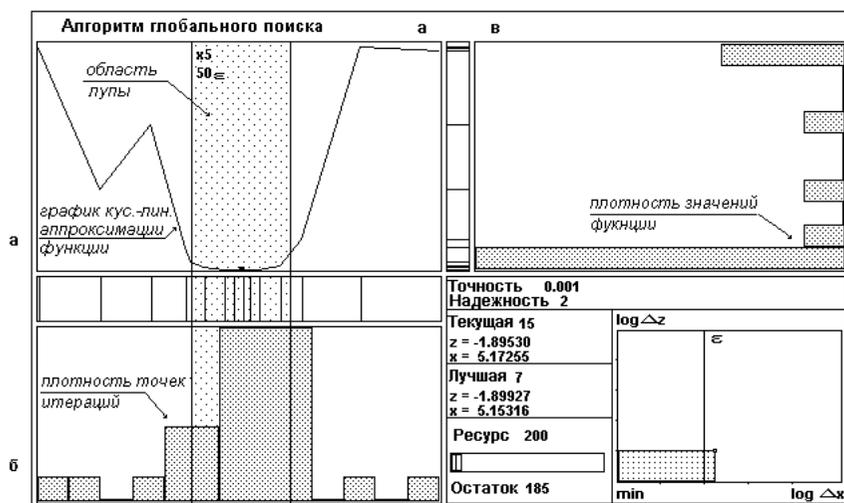
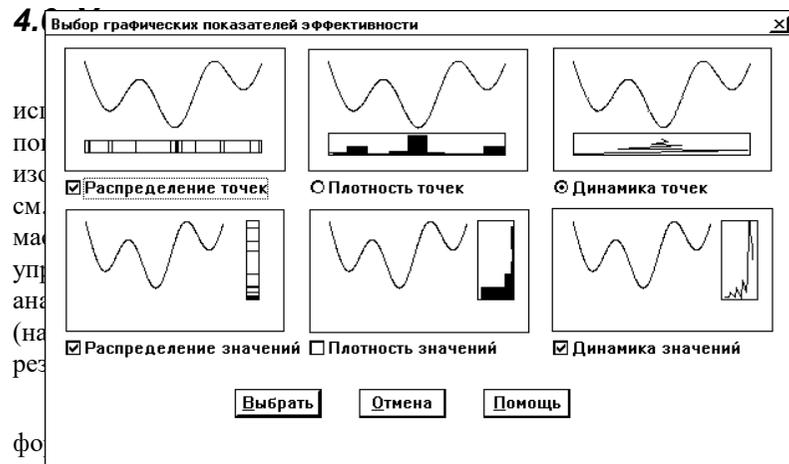


Рис. 10. Графические формы наблюдения за процессом поиска:
(а) график кусочно-линейной аппроксимации функции,
(б) плотность точек итераций, (в) плотность значений функции

4.5. Информационное табло

Данный индикатор (Рис. 9е) используется для демонстрации требуемой точности решения задачи оптимизации, установленных значений параметров метода, сведений о текущей итерации (в т.ч. номер итерации, координата точки итерации, значение функции в этой точке) и о текущей оценке глобального минимума. В нижней части табло слева расположена ленточная диаграмм расхода ресурса (число выполненных итераций поиска) с указанием остатка. Правая часть индикатора используется для датчика точности. Датчик представляет собой прямоугольник, внутри которого выделена точка, из которой опущены перпендикуляры на оси координат. Значения координат в основаниях этих перпендикуляров показывают логарифмы отклонения текущего приближения к глобальному минимуму соответственно по координате (основание перпендикуляра на оси абсцисс) и по значению функции (основание перпендикуляра на оси ординат). Оценка этих отклонений (нормированных соответственно на длину интервала и на колебание функции) основана на определении системой с высокой точностью искомого глобального минимума и колебания для каждой конкретной тестовой функции. На осях датчика точности нанесены метки (для абсциссы слева направо, для ординаты снизу вверх) для значений 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} соответственно. Требуемая точность показывается в области датчика в виде вертикальной линии, снабженной меткой ϵ . Размещение выделенной точки слева от этой вертикальной линии означает, что требуемая точность по координате фактически достигнута в текущем приближении (см. правило 7 из раздела 3). Наличие индикатора требуемой точности позволяет наглядно наблюдать как случаи, когда остановка поиска происходит до достижения заданной точности, так и случаи продолжения итераций, в ситуации, когда фактически достигнутая точность превышает заданную (проверка адекватности применяемого условия остановки). Лучшее текущее приближение отмечается цветными метками на графике функции, в логарифмическом индикаторе точности, на шкале расхода ресурса (отмечается итерация, на которой достигнуто последнее улучшение оценки) и на других индикаторах.



В любой момент выполнения вычислений любой графический индикатор выбора желаемой формы можно повторно наблюдать на экране. Выполняющиеся в составе системы диаграммы поиска формируются динамически в процессе выполнения оптимизационных итераций. Скорость демонстрации может регулироваться путем добавления соответствующего времени задержки при выполнении каждой итерации поиска. Демонстрация итераций поиска может осуществляться и в пошаговом режиме, при котором выполнение метода оптимизации приостанавливается после каждой итерации.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **График функции.** Для рисования графика функции по точкам равномерной сетки в области поиска следует выбрать команду **Функция** пункта меню **Графика** и затем выполнить команду **По точкам равномерной сетки** (этот режим рисования установлен по умолчанию). Для рисования графика кусочно-линейной аппроксимации функции следует выполнить последовательно команды **Графика** **Функция** **По точкам выполненных итераций поиска** (следует обратить внимание, что, если этот режим устанавливается при отсутствии выполненных итераций поиска, то график функции появляется только после начала оптимизации).

2. **Выбор датчиков.** Для выбора желаемых графических форм наблюдения за процессом поиска выполните команду **Датчики** пункта меню **Графика**. Далее в появившемся для исполнения команды диалоговом окне **Выбор графических показателей эффективности** (см. Рис. 11) следует указать мышкой название нужной графической формы и нажать левую кнопку мыши (при правильном выполнении действий в стоящей перед названием формы кнопке выбора должна появиться метка ✓). Действия по выбору форм могут быть продолжены; повторное указание ранее выбранной формы приведет к отмене выбора формы (в кнопке выбора исчезнет метка ✓). Следует обратить внимание, что две формы (**Плотность точек** и **Динамика точек**) в окне выбора помечены круглыми кнопками выбора - эти формы занимают одну и ту же область экрана при демонстрации и, как результат, одновременно показаны быть не могут. Справочная информация по всем представленным в окне выбора формам может быть получена при нажатии кнопки **Помощь**; для завершения выбора форм следует нажать кнопку **Выбрать**.

3. **Управление лупой.** Для перехода в режим управления лупой следует выполнить команду **Лупа** пункта меню **Графика**. В результате выполнения этой команды основное меню системы АБСОЛЮТ заменяется меню для управления лупой. Основные действия по управлению лупой состоят в следующем:

- *Изменение масштаба* выполняется командами **Увеличить** или **Уменьшить** пункта меню **Масштаб** (возможные варианты кратности лупы - 5, 25, 125);

- *Перемещение лупы* реализуется помещением указателя мыши в любой точке области лупы и нажатием левой кнопки мыши (курсор мыши должен превратиться в двунаправленную горизонтальную стрелку); далее, не отпуская кнопки, следует передвинуть мышь в направлении желаемого перемещения лупы;

- *Фиксация положения лупы* обеспечивается выполнением команды **Установка по визиру** пункта меню **Положение**. По умолчанию лупа устанавливается на точку с текущей оценкой глобального минимума. При установке по визиру положение лупы остается фиксированным при выполнении всех итераций поиска. Соответствующая точка установки - *визир* - представлен на экране вертикальной линией в области графика функции (визир может

оказаться невидимым при совпадении положения визира с левой границей окна оптимизации или с границами области лупы). Режим

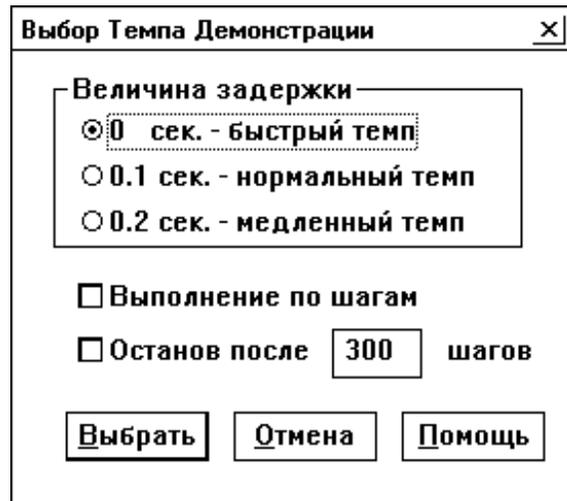


Рис. 12. Диалоговое окно для задания темпа показа

слежения за оценкой глобального минимума включается командой **На лучшей точке** пункта меню **Положение**;

– *Перемещение визира* аналогично перемещению лупы (перед нажатием кнопки курсор мыши должен указывать линию визира). При наложении линии визира и границ окна или области лупы следует выполнить команду **Визир** в пункте меню **Сдвиг** и переместить визир при помощи клавиш ← (влево) или → (вправо) клавиатуры дисплея;

– *Завершение настройки лупы* осуществляется командой **Завершить настройку** пункта меню **Масштаб**. *Отключение механизма лупы* (режим демонстрации графических форм без использования механизма лупы) обеспечивается командой **Убрать лупу** пункта меню **Масштаб**. После выполнения команд **Завершить настройку** и **Убрать лупу** восстанавливается основное меню системы АБСОЛЮТ.

4. **Темп показа**. Для задания желаемого темпа демонстрации следует выполнить команду **Темп показа** (пункт меню **Поиск**). В

появившемся для исполнения команды диалоговом окне **Выбор темпа демонстрации** (см. Рис. 12) следует указать мышкой наименование желаемого темпа показа (возможные варианты темпа приведены в области с рамкой **Величина задержки**) и нажать левую кнопку мыши (при правильном выполнении действий в стоящей перед наименованием варианта круглой кнопке выбора должна появиться темная точка). Для завершения выбора темпа показа следует нажать кнопку **Выбрать**.

 *Задания и упражнения:*

1. Установите режим показа графика кусочно-линейной аппроксимации минимизируемой функции, задайте медленный темп показа и выполните поиск. Обратите внимание на изменение графика аппроксимации по мере выполнения итераций поиска.

2. Восстановите показ графика функции. Сравните график функции и график кусочно-линейной аппроксимации (близость графиков в окрестности глобального минимума, различие графиков на интервалах с редким расположением точек итераций).

3. Выполните анализ полученной минимизирующей последовательности, изменяя, при необходимости, набор используемых форм наблюдения. Выделите предельные точки, интервалы равномерного расположения точек итераций, оцените плотность и др.

5. Анализ результатов глобального поиска

Выполнение численных экспериментов для изучения различных аспектов глобальной оптимизации во многих случаях может потребовать проведения длительных вычислений. Для обоснованности выдвигаемых предположений оптимизатор должен выполнить достаточно широкий набор экспериментов. Эти эксперименты могут быть выполнены для различных тестовых функций, разных методов и их параметров и т.п. Для возможности сравнения результатов численных экспериментов, выполненных последовательно, АБСОЛЮТ содержит различные средства для накопления результатов оптимизации и обеспечивает разнообразные способы представления этих данных в виде форм, удобных для проведения анализа.

5.1. Общие результаты экспериментов

Результаты выполнения экспериментов накапливаются системой автоматически и содержат количество решенных задач (включая общее количество и количество задач, решение которых выполнено с требуемой точностью), среднее количество итераций поиска, необходимых для решения задачи оптимизации и др. (см. Рис. 13а). Значения перечисленных показателей характеризуют результаты решения последовательности задач оптимизации и для их формирования учитываются результаты каждого выполненного эксперимента. При переходе к выполнению экспериментов, результаты которых не могут быть сопоставлены с итогами ранее проведенных вычислений (что имеет место, например, при смене используемого метода глобального поиска), значения показателей могут быть установлены в начальное - нулевое - состояние.

Следует отметить, что повторение эксперимента с идентичными исходными установками приведет к повторному учету результатов.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Общие результаты.** Для демонстрации накопленных результатов оптимизации следует выбрать пункт меню **Результат**,



Рис. 13. Сведения о выполненных экспериментах: (а) общие результаты (б) операционная характеристика

выделить команду **Итоги** и выполнить команду **Показать**. Вид диалогового окна с результатами оптимизации показан на Рис. 13а.; при нажатии кнопки **Печать** сведения о результатах выполненных экспериментов будут напечатаны на печатающем устройстве.

2. **Удаление результатов.** Для удаления накопленных результатов оптимизации следует выбрать пункт меню **Результат**, выделить команду **Итоги** и выполнить команду **Обнулить**. Применение данной команды может оказаться полезным в ситуациях, когда результаты следующих (планируемых к выполнению) экспериментов не целесообразно объединять с итогами ранее выполненных вычислений.

Задания и упражнения:

Выполните несколько экспериментов с одним и тем же методом глобального поиска для разных задач многоэкстремальной оптимизации и проанализируйте результаты выполненных экспериментов (количество задач, решение которых выполнено с

требуемой точностью; среднее количество итераций поиска, требуемых для получения оценки глобального минимума и др.).

5.2. Операционные характеристики

Общие результаты выполненных экспериментов могут быть использованы для сравнения методов глобального поиска. Оценка по результатам экспериментов количества задач оптимизации, решенных с требуемой точностью, позволяет охарактеризовать надежность глобального поиска. Знание среднего количества итераций, затрачиваемых методом до выполнения условия останова, позволяет судить об эффективности алгоритма оптимизации. Данные показатели, получаемые по общим результатам выполненных экспериментов, дают характеристику оптимизационных методов на момент окончания глобального поиска. Система АБСОЛЮТ предоставляет возможность использования более информативного показателя эффективности метода оптимизации, называемого *операционной характеристикой*, которая показывает вероятности нахождения глобального минимума с требуемой точностью в зависимости от количества итераций, выполненных этим методом. Эта характеристика может быть представлена как множество пар $\{k_s, p_s\}$, где k_s есть количество итераций, а p_s есть соответствующая вероятность нахождения глобального минимума с требуемой точностью за данное количество итераций. Эти вероятности могут быть оценены как частоты решения задач с заданной точностью при минимизации больших случайных выборок многоэкстремальных задач (см. [10]).

Операционная характеристика метода может быть показана графически в виде графика кусочно-ломаной линии, вершины которой образуются парами $\{k_s, p_s\}$ (см. Рис. 13б). Накапливание данных, необходимых для построения операционных характеристик, осуществляется системой АБСОЛЮТ автоматически с использованием результатов каждого выполненного эксперимента. В любой момент эти данные могут быть стерты для построения новых оценок операционных характеристик (что может быть полезным при смене целевого назначения проводимых экспериментов).

 *Правила использования системы АБСОЛЮТ:*

1. **Показ операционных характеристик.** Показ построенной по результатам экспериментов операционной характеристики метода осуществляется совместно с демонстрацией накопленных результатов оптимизации (выполните последовательно команды **➤Результат ➤Итоги ➤Показать**). Вид диалогового окна с операционной характеристикой метода показан на Рис. 13б.; при нажатии кнопки **Печать** операционная характеристика метода будет напечатана на печатающем устройстве. Другой способ показа операционных характеристик состоит в выполнении команды **Операционные характеристики** пункта меню **Результат**. В этом случае показ графика операционных характеристик выполняется в более крупном масштабе; кроме того, на графике будут представлены операционные характеристики из всех имеющихся окон для проведения экспериментов (см. в следующем разделе пункт **Выполнение нескольких экспериментов**).

2. **Удаление результатов.** Удаление накопленных результатов для перехода к построению новых оценок операционных характеристик осуществляется последовательным выполнением команд **➤Результат ➤Итоги ➤Обнулить**.

 *Задания и упражнения:*

Выполните следующие задания для освоения понятия операционных характеристик:

- проведите несколько экспериментов с одним и тем же методом глобального поиска для разных задач многоэкстремальной оптимизации;
- проанализируйте операционную характеристику метода глобального поиска, сформированную по результатам выполненных экспериментов (характер зависимости, наличие линейных участков и т.д.);
- исследуйте характер изменения операционной характеристики метода с ростом числа выполненных экспериментов.

5.3. Журнал экспериментов

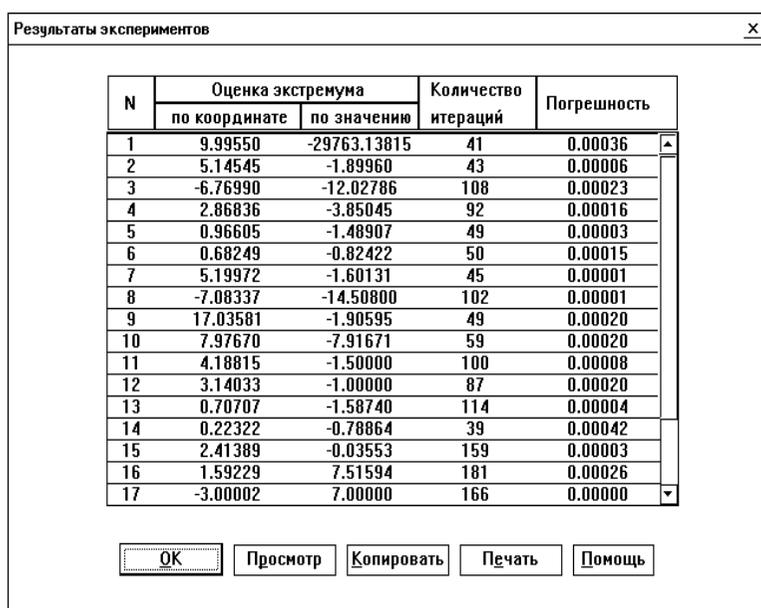
Для сохранения результатов решения конкретных задач оптимизации АБСОЛЮТ содержит специальную область памяти,

называемую далее *журналом экспериментов*. Данные, записываемые в этом журнале, включают:

- оценку глобального минимума, полученную методом (по координате и по значению функции),
 - номер итерации поиска, на которой эта оценка была получена,
 - количество итераций, выполненных методом до выполнения условия останова,
 - погрешность найденной оценки глобального минимума
- и др.

Результаты записываются в журнал либо под управлением пользователя по команде системы, либо же системой автоматически (при установке режима Автосохранения). Данные журнала могут быть показаны в численной и графических формах (см. Рис. 14 и Рис. 16).

 *Правила использования системы АБСОЛЮТ:*



N	Оценка экстремума		Количество итераций	Погрешность
	по координате	по значению		
1	9.99550	-29763.13815	41	0.00036
2	5.14545	-1.89960	43	0.00006
3	-6.76990	-12.02786	108	0.00023
4	2.86836	-3.85045	92	0.00016
5	0.96605	-1.48907	49	0.00003
6	0.68249	-0.82422	50	0.00015
7	5.19972	-1.60131	45	0.00001
8	-7.08337	-14.50800	102	0.00001
9	17.03581	-1.90595	49	0.00020
10	7.97670	-7.91671	59	0.00020
11	4.18815	-1.50000	100	0.00008
12	3.14033	-1.00000	87	0.00020
13	0.70707	-1.58740	114	0.00004
14	0.22322	-0.78864	39	0.00042
15	2.41389	-0.03553	159	0.00003
16	1.59229	7.51594	181	0.00026
17	-3.00002	7.00000	166	0.00000

Рис. 14. Окно с табличной формой представления данных из журнала экспериментов

1. **Записать в журнал.** Для записи результатов последнего выполненного эксперимента в журнал экспериментов выполните последовательно команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Записать**. Следует отметить, что повторная запись результатов одного и того же эксперимента не выполняется, однако эксперименты, выполненные с идентичными исходными установками, считаются разными и их результаты могут быть записаны в журнал отдельно. Всего в журнал экспериментов могут быть записаны результаты выполнения 20 экспериментов. При записи результатов следующего - 21 эксперимента записанные в журнале данные сдвигаются на одну позицию вверх (с потерей результатов первого записанного эксперимента).

2. **Демонстрация журнала.** Для демонстрации журнала экспериментов при представлении данных в виде таблицы выполните последовательно команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов**



Рис. 15. Окно с исходными данными эксперимента

➤ **Показать.** В окне показа журнала (см. Рис. 14) предоставляется возможность выполнения следующих действий:

- кнопка **ОК** - для завершения просмотра журнала экспериментов;
- кнопка **Просмотр** - для просмотра параметров эксперимента, соответствующего выделенной строке таблицы; для эксперимента показывается график минимизируемой функции, использованный метод глобального поиска и его параметры (см. Рис. 15);
- кнопка **Копировать** - для записи данных (в текстовом формате) из журнала экспериментов в буфер обмена системы Windows;
- кнопка **Печать** - для печати таблицы на печатающем устройстве;
- кнопка **Помощь** - для получения дополнительной справочной информации.

3. **Диаграмма.** Для демонстрации журнала экспериментов при представлении данных в виде диаграммы выполните последовательно команды ➤ **Результат** ➤ **Журнал экспериментов** ➤ **Диаграмма**. В окне показа диаграммы (см. Рис. 16) количество выполненных в экспериментах итераций поиска представлено в виде левой вертикальной столбиковой диаграммы, полосы которой направлены справа налево (вертикальным штрихом в строке гистограммы показывается номер итерации поиска, на которой была получена оценка глобального минимума). Погрешность полученных оценок представлена правой вертикальной столбиковой гистограммой, полосы которой направлены слева направо. Вертикальными штрихами в строках этой гистограммы показываются величины установленной при выполнении экспериментов точности (т.е., если показатель погрешности не достигает метку точности, то требуемая точность оценки глобального минимума является достигнутой). В окне диаграммы может быть выполнен просмотр исходных данных выполненных экспериментов (кнопка **Просмотр**).

4. **Удаление данных.** Для удаления данных, записанных в журнал экспериментов, следует выполнить последовательно команды ➤ **Результат** ➤ **Журнал экспериментов** ➤ **Обнулить**.

5. **Режим Автозаписи.** Для автоматической записи результатов выполняемых экспериментов в журнал экспериментов следует

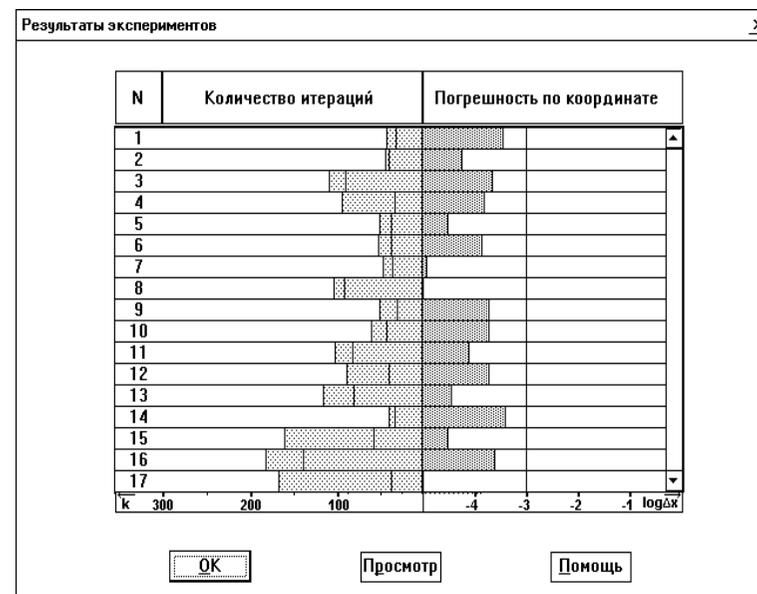


Рис. 16. Окно для показа данных из журнала экспериментов в виде диаграммы

выполнить последовательно команды ➤ **Результат** ➤ **Журнал экспериментов** ➤ **Автозапись** (признаком фиксации данного режима является высветка метки ✓ перед командой Автозапись). Результаты эксперимента заносятся в журнал экспериментов в момент перехода к формированию параметров следующего эксперимента (т.е. в момент смены оптимизируемой функции или выбора нового метода алгоритма глобального поиска). Для отмены режима необходимо повторно выполнить команду Автозапись.

Задания и упражнения:

Выполните следующие задания для освоения правил работы с журналом экспериментов:

- установите режим Автозаписи и проведите несколько экспериментов с одним и тем же методом глобального поиска для разных задач многоэкстремальной оптимизации;

– проанализируйте результаты экспериментов, записанных в журнал (при представлении данных в виде таблицы); выделите эксперименты, в которых были получены наилучшие (наихудшие) результаты, и рассмотрите вид минимизируемых функций в таких экспериментах;

– получите диаграмму для результатов журнала экспериментов и выполните ее печать на печатающем устройстве.

6. Выполнение вычислительных экспериментов с методами глобального поиска

В рамках системы АБСОЛЮТ допускаются разные схемы организации вычислений при проведении экспериментов по численному решению задач многоэкстремальной оптимизации. Поиск глобального минимума может выполняться *в режиме последовательного исполнения* или *в режиме разделения времени* с возможностью одновременного наблюдения результатов всех выполняемых экспериментов. Проведение серийных экспериментов, требующих длительных вычислений, может происходить *в автоматическом режиме* с возможностью запоминания результатов поиска для организации последующего анализа полученных данных. Выполнение экспериментов может осуществляться и *в режиме ручного поиска*, при котором оптимизатор указывает точки итераций самостоятельно (данный режим позволяет пользователю проверить свое представление о рациональных способах проведения глобального поиска).

6.1. Последовательное выполнение экспериментов

В общем случае цель проведения вычислительных экспериментов состоит в оценке эффективности изучаемого метода оптимизации при решении различных многоэкстремальных задач оптимизации. Выполнение таких экспериментов может сводиться к многократному повторению этапов постановки и решения задач оптимизации. При выполнении глобального поиска в рамках системы АБСОЛЮТ процесс оптимизации может быть приостановлен в любой момент времени (для смены графических форм наблюдения за процессом поиска или для изменения значений параметров метода оптимизации) и продолжен далее до выполнения условия остановки. Кроме того, процесс оптимизации может осуществляться с приостановкой после выполнения каждой итерации поиска или после выполнения

указанного количества итераций. Результаты решения задач оптимизации могут быть записаны в журнал экспериментов и представлены в виде, удобном для проведения анализа.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Оптимизация.** Для численного решения задачи оптимизации выберите пункт меню **Поиск** и выполните команду **В активном окне**. Поиск глобального минимума осуществляется без останова до выполнения условия останова (*останов по точности*) или до выполнения максимально-допустимого количества итераций (*останов по числу итераций*). В ходе оптимизации основное меню системы заменяется на меню с командой **Остановить**; после завершения поиска основное меню системы восстанавливается.

2. **Приостановка поиска.** Для приостановки глобального поиска следует выполнить в строке меню команду **Остановить** (команда доступна только до момента выполнения условия останова).

3. **Продолжение поиска.** Для продолжения ранее приостановленного процесса поиска следует выполнить команду **Продолжить** пункта меню **Поиск** (команда может быть выполнена только в случае, если в момент приостановки процесса поиска не изменялась постановка задачи оптимизации и не осуществлялся выбор другого метода поиска; при невозможности продолжения ранее приостановленного процесса поиска имя данной команды высвечивается серым цветом).

4. **Пошаговый режим.** Для задания режима останова процесса оптимизации после выполнения каждой итерации поиска следует применить команду **Темп показа** пункта меню **Поиск**. Далее в появившемся диалоговом окне **Выбор темпа демонстрации** (см. Рис. 12) укажите мышью наименование режима **Выполнение по шагам** и нажмите левую кнопку мыши (в кнопке выбора перед наименованием режима должна появиться метка ✓). После выполнения указанных действий при переходе к решению задачи оптимизации (команды **В активном окне** и **Во всех окнах** пункта меню **Поиск**) процесс поиска будет приостанавливаться после выполнения каждой итерации поиска; при этом основное меню системы заменяется на меню пошагового режима с командами:

– **Шаг** - для выполнения очередной итерации поиска;

- **Без останова** - для продолжения глобального поиска без останова;
- **Заккрыть** - для приостановки процесса поиска.

Для отмены установки пошагового режима необходимо повторить выполнение команды **Темп показа** и убрать метку ✓ в кнопке выбора пошагового режима.

5. **Указание моментов останова.** Установка режима глобального поиска с задаваемыми моментами останова осуществляется по той же схеме, что и режим пошагового исполнения. Выполните команду **Темп показа** пункта меню **Поиск**, далее в появившемся диалоговом окне **Выбор темпа демонстрации** (см. Рис. 12) следует указать мышью наименование режима **Останов после** и нажать левую кнопку мыши (в кнопке выбора перед наименованием режима должна появиться метка ✓). Затем в строке ввода после наименования режима следует ввести желаемое количество итераций поиска, после выполнения которых будет осуществляться приостановка глобального поиска (по умолчанию, в строке ввода установлено значение 300). При завершении установки режима (перед нажатием кнопки **Выбрать**) следует обратить внимание, чтобы кнопка выбора пошагового режима не содержала метку ✓. При выполнении поиска основное меню системы заменяется на меню режима с задаваемыми моментами останова, в котором содержится следующий набор команд:

- **Пуск** - для выполнения очередной последовательности итераций поиска;
- **Без останова** - для продолжения глобального поиска без останова;
- **Заккрыть** - для приостановки процесса поиска.

Для отмены установки режима необходимо повторить выполнение команды **Темп показа** и убрать метку ✓ в кнопке выбора пошагового режима поиска с указываемыми моментами останова.

Задания и упражнения:

Выполните решение задачи оптимизации в соответствии со следующим планом проведения эксперимента:

- установите режим поиска с задаваемыми моментами остановами через 10 итераций;

- выполните 20 итераций поиска и приостановите процесс оптимизации;
- установите режим пошагового поиска;
- выполните 5 итераций поиска и завершите процесс оптимизации в режиме выполнения итераций поиска без останова.

6.2. Выполнение нескольких экспериментов

Последовательное выполнение экспериментов затрудняет сравнение результатов оптимизации, полученных в разных экспериментах (например, при решении одной и той же задачи оптимизации разными методами или одним и тем же методом, но с разными значениями параметров). Для возможности более наглядного сравнения таких данных система АБСОЛЮТ позволяет демонстрировать на экране дисплея одновременно результаты всех сравниваемых экспериментов. Для этого экран дисплея может разделяться на несколько прямоугольных областей (*окон*), в каждой из которых могут высвечиваться результаты отдельно проводимого эксперимента. В любой момент оптимизатор может создать новое экранное окно для выполнения нового эксперимента. При этом, общие итоги экспериментов и оценка операционной характеристики (см. раздел 5 пособия) формируются раздельно для каждого имеющегося окна, каждое окно имеет и свой отдельный журнал экспериментов. При визуализации окна для проведения экспериментов могут разделять экран (в этом случае содержимое всех окон является видимым) или могут перекрываться. Оптимизатор может выбрать любое окно *активным* для выполнения очередного эксперимента. Но вычисления могут быть выполнены и во всех окнах одновременно в режиме разделения времени, когда каждая новая итерация поиска выполняется последовательно во всех имеющихся окнах. Используя этот режим, оптимизатор может наблюдать за динамикой выполнения нескольких экспериментов, результаты вычислений могут быть визуально различимы и их сравнение может быть выполнено на простой наглядной основе.

Для примера на Рис. 17 представлены результаты решения одной и той же многоэкстремальной задачи оптимизации при помощи метода ломаных и алгоритма глобального поиска с использованием для каждого метода отдельного окна для проведения глобального поиска. Возможность наблюдения на Рис. 17 двух окон одновременно

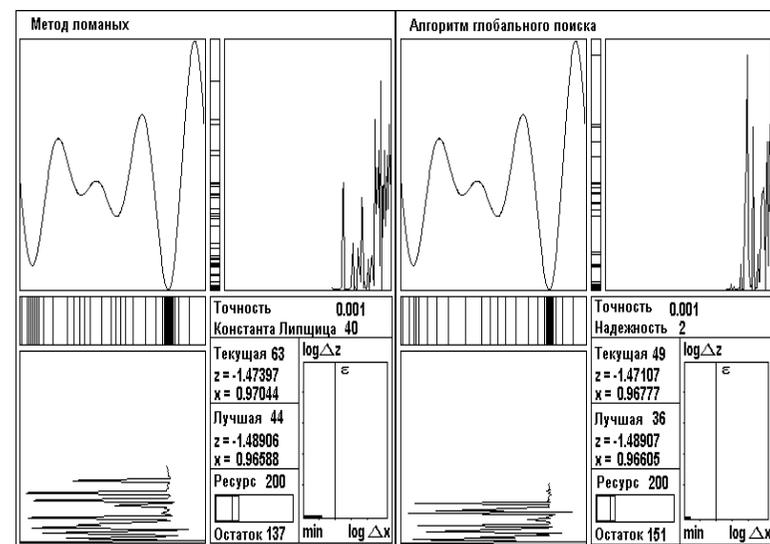


Рис. 17. Пример демонстрации нескольких окон оптимизации

позволяет легко сделать вывод, что при решении данной конкретной задачи оптимизации алгоритм глобального поиска выполнил меньшее количество итераций поиска и обеспечил получение оценки глобального минимума с лучшей точностью, а метод ломаных имеет большую плотность точек испытаний вне окрестности глобального минимума.

Следует отметить, что операционные характеристики методов оптимизации, построенные в разных окнах, могут высвечиваться совместно на одном и том же графике (для возможности решения одинаковых задач в различных окнах минимизируемая функция может быть передана из окна в окно путем копирования). Это возможно и для данных из журналов экспериментов, соответствующих различным окнам. Накопленные результаты экспериментов могут быть сведены для показа в одной и той же таблице (Рис. 18) или в одной и той же диаграмме (Рис. 19).

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Создание окна.** При создании окна для проведения экспериментов следует выполнить команду **Создать новый** пункта меню **Эксперимент**. Общее количество одновременно используемых окон не должно превышать 10. Закрытие окна эксперимента осуществляется принятыми в системе Windows способами (например, путем нажатия кнопки закрытия окна в правом верхнем углу окна). Для одновременного закрытия всех имеющихся окон следует выполнить команду **Закрыть все** пункта меню **Эксперимент**.

2. **Управление окнами.** Управление размерами окон проведения экспериментов осуществляется принятыми в системе Windows способами (максимизация, минимизация, изменение размеров при помощи мыши). Для одновременного показа всех имеющихся окон без перекрытия можно использовать команду **Показать все** пункта меню **Эксперимент**; для выделения большей части экрана для активного окна (но при сохранении возможности быстрого доступа ко всем имеющимся окнам) следует применить команду **Расположить стопкой** пункта меню **Эксперимент**.

3. **Поиск во всех окнах.** Для выполнения глобального поиска во всех имеющихся окнах в режиме разделения времени (т.е., при переходе к выполнению следующей итерации поиска только после завершения текущей итерации во всех имеющихся окнах) следует применить команду **Во всех окнах** пункта меню **Поиск**. Управление процессом вычислений осуществляется также, как и при использовании единственного окна (приостановка поиска по команде **Остановить**, возможность пошагового исполнения итераций поиска или приостановки поиска после выполнения указанного количества итераций).

4. **Копирование задачи.** Для копирования задачи оптимизации из окна в окно, обеспечивающего проведение экспериментов с одной и той же многоэкстремальной функцией, нужно выполнить следующую последовательность действий:

– сделать активным окно, задачу которого предполагается скопировать; для этого необходимо указать курсором мыши любую точку окна и нажать левую кнопку мыши;

– выполнить команду **Запомнить как образец** пункта меню **Задача**;

– сделать активным окно, в которое необходимо скопировать задачу;

– выполнить команду **Взять образец** пункта меню **Задача**.

При копировании функции в несколько окон действия по установке образца для копирования выполняются только один раз. Если же одна и та же задача оптимизации должна быть установлена во всех имеющихся окнах, возможен иной - более быстрый - способ выполнения этой операции. Для этого следует сделать активным окно, задачу которого предполагается скопировать, и выполнить команду **Копировать во все окна** пункта меню **Задача**.

5. **Сравнение журналов.** Для сравнения журналов экспериментов в имеющихся окнах следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Сравнить**. В получаемой таблице (см. Рис. 18) строки представляют результаты экспериментов, записанные в журнале активного окна, в сравнении с результатами из других имеющихся журналов. Столбцы таблицы соответствуют окнам, которые были созданы в системе АБСОЛЮТ для проведения экспериментов. Перечень названий имеющихся окон, по которому можно определить соответствие столбцов таблицы и окон, содержится в располагаемом под таблицей раскрывающемся списке (см. Рис. 18), для развертывания которого следует указать курсором мыши кнопку раскрытия с меткой **▼** в строке списка. По каждому эксперименту в таблице приводится только количество итераций, выполненных методами глобального поиска до выполнения условия остановки (при погрешности полученной оценки глобального минимума большей, чем требуемая точность, выводимое количество итераций помечается символом "*").

Поскольку в журналах разных окон могут быть записаны результаты решения различающихся оптимизационных задач, для построения объединенной таблицы в системе АБСОЛЮТ используется следующая процедура сравнения журналов. Для каждой задачи, результаты решения которой были занесены в журнал активного окна, ищутся результаты решения этой же задачи, записанные в журналах других окон. Просмотр журналов для сопоставления зафиксированных результатов выполняется последовательно - для каждой очередной записи журнала активного

The screenshot shows a window titled "Результаты экспериментов" (Experimental Results). It contains a table with 14 rows and 3 columns. The first column is labeled 'N', the second '1', and the third '2'. Below the table is a dropdown menu with two options: "1. Алгоритм Глобального Поиска" and "2. Метод ломаных". At the bottom are five buttons: "OK", "Просмотр", "Копировать", "Печать", and "Помощь".

N	1	2
1	35	
2	21	
3	39	
4	62	
5	29	
6	32	44
7	53	63
8	43	83
9	54	86
10	35	57
11	52	53
12	38	73
13	62	91
14	67	87

Рис. 18. Таблица сравнения нескольких журналов экспериментов

окна поиск совпадающих постановок оптимизационных задач в журналах других окон начинается с записей, которые соответствуют предшествующей записи журнала активного окна (так, например, если обнаружено, что первой записи журнала активного окна соответствует третья запись некоторого другого журнала, то поиск в этом журнале соответствия для второй записи журнала активного окна будет осуществляться начиная с четвертой записи и т.д.).

Следует отметить, что вид таблицы сравнения может зависеть от того, какое окно является активным в момент выполнения команды (исходными данными для процедуры сравнения являются записи журнала активного окна). Интерпретация данных таблицы облегчается, если набор минимизируемых функций в выполненных экспериментах (и порядок их записи в журналы) является одинаковым.

В окне просмотра таблицы сравнения журналов предоставляется возможность выполнения следующих действий:

- кнопка **OK** - для завершения просмотра;
- кнопка **Просмотр** - для просмотра параметров эксперимента, данные о котором располагаются в выделенной строке таблицы

и в столбце, номер которого указан в расположенной под таблицей строке списка окон. Выделение желаемой строки осуществляется помещением в нее курсора мыши и нажатием левой кнопки мыши. Для смены выделенного столбца следует указать курсором мыши кнопку раскрытия списка названий столбцов, нажать левую кнопку мыши и выбрать в появившемся списке наименование желаемого столбца. Для эксперимента показывается график минимизируемой функции, использованный метод глобального поиска и его параметры (см. Рис. 15);

- кнопка **Копировать** - для записи данных (в текстовом формате) из таблицы сравнения журналов экспериментов в буфер обмена системы Windows;
- кнопка **Печать** - для печати таблицы на печатающем устройстве;
- кнопка **Помощь** - для получения дополнительной справочной информации.

6. **Сравнение диаграмм.** Для сравнения журналов экспериментов в имеющихся окнах и получения результатов сравнения в виде диаграммы следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Сравнить и Диаграмма**. При построении диаграммы (см. Рис. 19) используется та же самая процедура сравнения задач в разных журналах, что и при формировании таблицы сравнения (см. п. **Сравнение журналов** на стр. 27). Диаграмма сравнения журналов представляет собой объединение диаграмм отдельных журналов (см. п. **Диаграмма** на стр. 23). Каждая строка диаграммы разбивается на полосы по количеству имеющихся окон для проведения экспериментов; в каждой полосе закрашенным прямоугольником, направленным справа налево, показывается количество итераций, осуществленных методом до выполнения условия остановки; прямоугольником, направленным слева направо, представляет погрешность полученной оценки глобального минимума. Результаты экспериментов из разных окон различаются цветом закрашки прямоугольников. В окне просмотра диаграммы предоставляется возможность выполнения следующих действий:

- кнопка **OK** - для завершения просмотра;
- кнопка **Просмотр** - для просмотра параметров эксперимента, данные о котором располагаются в выделенной строке

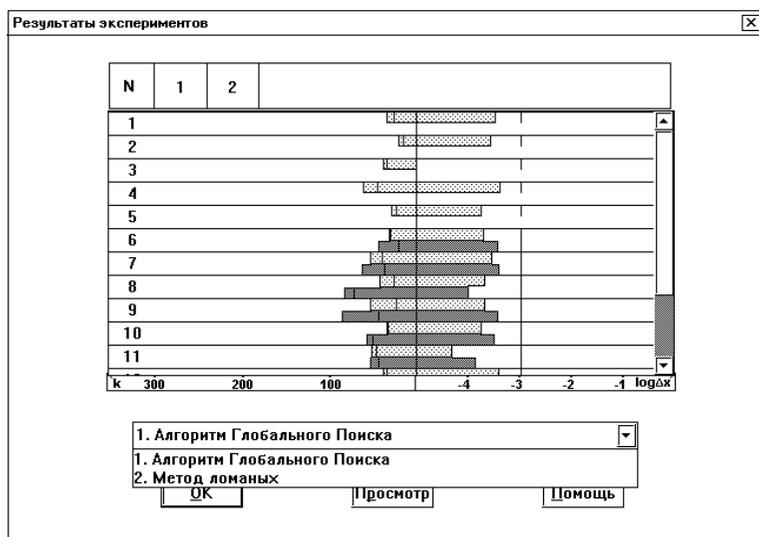


Рис. 19. Диаграмма сравнения нескольких журналов экспериментов

диаграммы и в полосе, номер которой указан в расположенной под таблицей строке; выделение строк и полос выполняется так же, как и при просмотре таблицы сравнения журналов;

– кнопка **Помощь** - для получения дополнительной справочной информации.

7. **Применение команд во всех окнах.** Для задания режима применения команд, используемых для управления журналами экспериментов, ко всем имеющимся окнам следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Применять во всех окнах** (признаком установки данного режима является высветка метки **✓** перед наименованием команды). После установки данного режима выполнение любой из команд управления журналами (команды **Записать**, **Обнулить**, **Автозапись**) приведет к их исполнению в каждом окне проведения эксперимента. Следует отметить, что поскольку команда **Автозапись** действует как переключатель (команда устанавливает режим автозаписи, если он не был ранее установлен, и отменяет его в противном случае), то

рекомендуется перед выполнением команды **Применять во всех окнах** установить одинаковый режим автозаписи в окнах проведения экспериментов.

Для отмены режима применения команд во всех окнах следует повторно выполнить команду установки режима.

Задания и упражнения:

Выполните решение задачи оптимизации в соответствии со следующим планом проведения эксперимента:

– откройте второе окно для проведения экспериментов; задайте режим показа окон без перекрытия;

– сгенерируйте в первом окне функцию при помощи случайного датчика; скопируйте функцию во второе окно;

– установите в одном окне алгоритм глобального поиска, в другом окне - метод ломаных;

– выполните глобальный поиск во всех окнах одновременно; отрегулируйте скорость демонстрации установкой подходящего темпа показа;

– повторите выполнение экспериментов, результаты выполненных экспериментов запишите в журналы экспериментов каждого окна;

– получите таблицу сравнения журналов; убедитесь, что для экспериментов, результаты которых записаны в одной и той же строке таблицы, совпадают постановки задач оптимизации;

– проанализируйте диаграмму сравнения журналов. Оцените возможность сравнения эффективности методов оптимизации при данном способе представления результатов глобального поиска.

6.3. Выполнение серии экспериментов

АБСОЛЮТ обеспечивает возможность автоматического (без участия пользователя) выполнения длительных серий экспериментов, требующих проведения значительных вычислений. При выполнении таких экспериментов функции для минимизации генерируются при помощи случайного механизма. При задании этого режима работы системы пользователь должен выбрать окна, в которых будут выполняться эксперименты, установить необходимое количество экспериментов и выбрать желаемое семейство тестовых задач

оптимизации. Результаты оптимизации, получаемые во время решения серии задач оптимизации, используются для построения операционных характеристик алгоритмов глобального поиска. Эти результаты могут быть сохранены также в журналах экспериментов соответствующих окон. В любой момент выполняемая серия экспериментов может быть приостановлена.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Выполнить серию.** Для выполнения серии экспериментов следует последовательно выполнить команды **Поиск** **Выполнить серию**. Далее в появившемся для исполнения команды диалоговом окне **Задание параметров серии** (см. Рис. 20) необходимо установить следующие параметры серии экспериментов:

- **Тип задач** - укажите курсором наименование желаемого набора задач и нажмите левую кнопку мыши (при правильном выполнении действий в стоящей перед наименованием набора задач круглой кнопке выбора должна появиться темная точка); при выполнении экспериментов функции из указанного набора

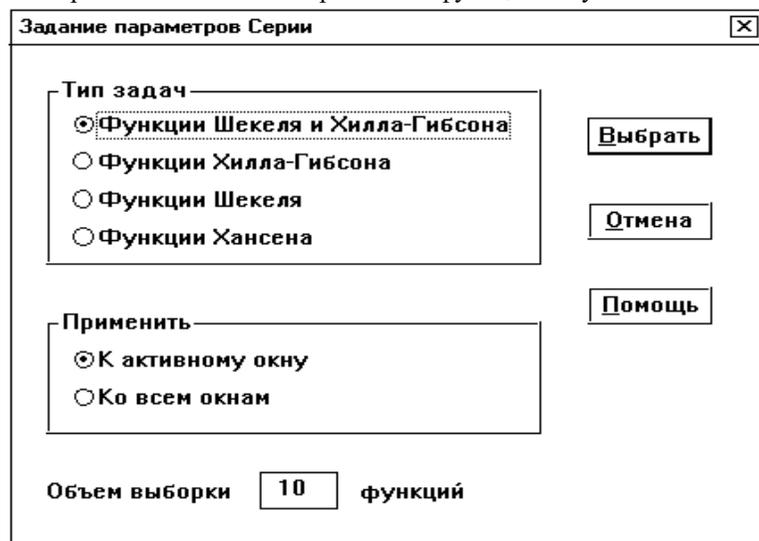


Рис. 20. Диалоговое окно для задания параметров серии экспериментов

будут выбираться при помощи случайного механизма (за исключением набора функций Хансена, в котором функции для проведения экспериментов выбираются последовательно); при планировании экспериментов следует учитывать, что набор Хансена содержит только 20 задач оптимизации;

- **Набор окон** - для проведения экспериментов только в активном окне укажите курсором мыши строку **К активному окну** в области с названием **Применить** и нажмите левую кнопку мыши (подтверждение выбора - темная точка в круглой кнопке выбора); для выполнения экспериментов одновременно во всех имеющихся окнах следует выбрать вариант **Ко всем окнам**;
- **Объем выборки** задается в строке ввода и определяет количество экспериментов, которое необходимо выполнить в серии.

Следует отметить, что все перечисленные параметры имеют значения, установленные по умолчанию (набор функций Шекеля и Хилла-Гибсона, выполнение экспериментов только в активном окне, количество экспериментов - 10); задание параметров необходимо только в случае, если желаемые значения не совпадают со значениями по умолчанию. Для завершения задания параметров серии следует нажать кнопку **Выбрать**, что приводит к переходу системы АБСОЛЮТ в режим выполнения серии и основное меню системы заменяется на меню управления данным режимом; команды меню описаны далее в пунктах 2-4.

2. **Операционные характеристики.** Данный пункт меню содержит команды управления режимом высветки графиков операционных характеристик методов из разных окон для решения задач многоэкстремальной оптимизации; набор команд пункта меню является следующим:

- команда **Показать в конце** определяет режим, при котором в ходе выполнения серии экспериментов графики операционных характеристик методов не высвечиваются, просмотр сформированных по результатам вычислений операционных характеристик может быть выполнен после завершения серии по команде **Операционные характеристики** пункта основного меню **Результат**;

- команда **Показать отдельно** устанавливает режим выполнения серии экспериментов с демонстрацией графиков операционных характеристик методов при их раздельном положении в окнах проводимых экспериментов;
- команда **Показать совместно** задает режим показа, при котором выполнение серии экспериментов сопровождается показом объединенного графика операционных характеристик из всех имеющихся окон проводимых экспериментов.

3. **Пуск.** Данная команда меню приводит к началу выполнения серии экспериментов. Для управления процессом вычислений меню системы заменяется на меню с единственной командой **Остановить**, при помощи которой выполнение серии может быть приостановлено; для оценки возможной продолжительности вычислений, необходимых для завершения серии, на экране высвечивается ленточный индикатор количества выполненных экспериментов.

4. **Закреть.** Данная команда меню используется для завершения режима выполнения серии экспериментов.

Задания и упражнения:

Выполните вычислительные эксперименты, план проведения которых состоит в следующем:

- откройте пять окон для проведения экспериментов;
- выберите в каждом окне алгоритм глобального поиска, но задайте для него разные значения коэффициента надежности (например, значения 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4 соответственно);
- выполните серию экспериментов для имеющегося набора окон (объем выборки может быть согласован с имеющимся временем для проведения вычислений, но желательно, чтобы при этом было выполнено решение не менее 100 задач многоэкстремальной оптимизации);
- проанализируйте результаты выполненных экспериментов (общие итоги, операционные характеристики). Оцените возможность выработки тех или иных рекомендаций по выбору целесообразных значений коэффициента надежности алгоритма глобального поиска.

6.4. Ручной поиск глобального минимума

Для проверки своего представления о процессе глобального поиска, оптимизатор может попытаться решить задачу оптимизации непосредственно (вручную), указывая явно точки итераций поиска. Ручной поиск может использоваться также для изучения возможностей человека по управлению глобальным поиском, для оценивания эффективности автоматических методов многоэкстремальной оптимизации и т.п. При ручном решении задач глобальной оптимизации оптимизатор реализует свои интуитивные представления о поведении функции и о расположении точки глобального минимума.

При проведении ручного поиска многоэкстремальные функции, минимизируемые пользователем, генерируются при помощи случайного механизма, и графики этих функций перед началом поиска на экране дисплея не высвечиваются. Доступной информацией о решаемой задаче оптимизации являются только точки выполненных итераций поиска и значения функции, вычисленные в этих точках (на экране дисплея высвечивается график кусочно-линейной аппроксимации минимизируемой функции, построенный по точкам выполненных итераций). График минимизируемой функции и погрешность найденной пользователем оценки глобального минимума показываются на экране дисплея только после завершения ручного поиска указания (при помощи специальной команды). При этом оптимизационная задача, сгенерированная для ручного поиска, копируется во все имеющиеся окна и осуществляется решение этой задачи при помощи установленных в этих окнах стандартных методов (что позволяет оптимизатору сравнить эффективность автоматических алгоритмов оптимизации с эффективностью ручного поиска).

Результаты ручного поиска (количество выполненных итераций поиска и полученная точность) накапливаются системой автоматически для построения средних оценок эффективности ручного поиска. Подобные данные накапливаются также и для выбранных автоматических методов оптимизации. Дополнительная информация о выполняемых экспериментах (минимизируемые функции, применяемые методы и их параметры, оценки глобального минимума и точность этих оценок) может быть сохранена в журналах экспериментов.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

Для выполнения экспериментов по ручному решению задач многоэкстремальной оптимизации рекомендуется следующая последовательность использования команд системы АБСОЛЮТ.

1. **Открытие окон.** Перед выполнением ручного поиска следует установить желаемый набор окон для проведения экспериментов. При проведении ручного поиска решение оптимизационных задач, сгенерированных для ручного поиска, будет осуществляться во всех имеющихся окнах для сопоставления эффективности ручного поиска с эффективностью автоматических алгоритмов оптимизации.

2. **Установка ручного поиска.** Для перехода в режим ручного поиска следует последовательно выполнить команды **➤Поиск** **➤Сравнить с ручным поиском.** Далее в появившемся при

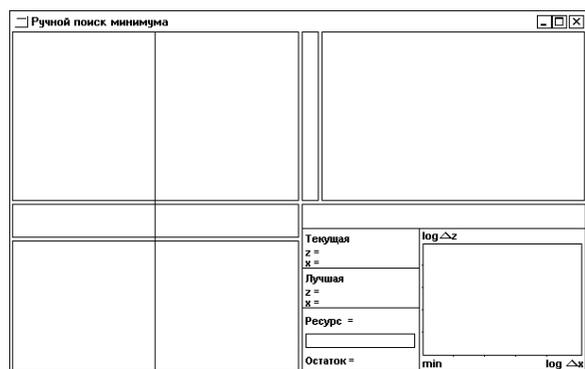


Рис. 21. Вид окна ручного поиска перед началом эксперимента

исполнении команды в диалоговом окне **Ручной поиск минимума** следует подтвердить свое желание перехода в режим ручного поиска (нажать кнопку **Да**), а в диалоговом окне **Задание параметров** установить желаемую точность ручного поиска. В результате выполненных действий система создает окно ручного поиска (см. Рис. 21).

3. **Выполнение итераций.** Указание точек выполняемых итераций поиска осуществляется при помощи вертикальной линии (визира), расположенной в левой части окна ручного поиска. Укажите визир курсором мыши, нажмите левую кнопку мыши (курсor мыши должен принять вид двунаправленной горизонтальной стрелки) и, не отпуская кнопки, переместить визир в желаемую точку области поиска. Для вычисления значения функции в точке визира следует нажать два раза подряд (с небольшой задержкой между нажатиями) левую кнопку мыши. Значения минимизируемой функции, вычисленные в ходе выполненных итераций поиска, представлены в области графика функции точками, соединенными отрезками прямых линий (вид окна ручного поиска после выполнения нескольких итераций поиска показан на Рис. 22). Следует обратить внимание, что погрешность полученной оценки глобального минимума на датчике точности не показывается). Для точного указания точек области поиска можно максимизировать окно ручного поиска и применить лупу (команда **Лупа** пункта меню **Графика**). Управление визиром

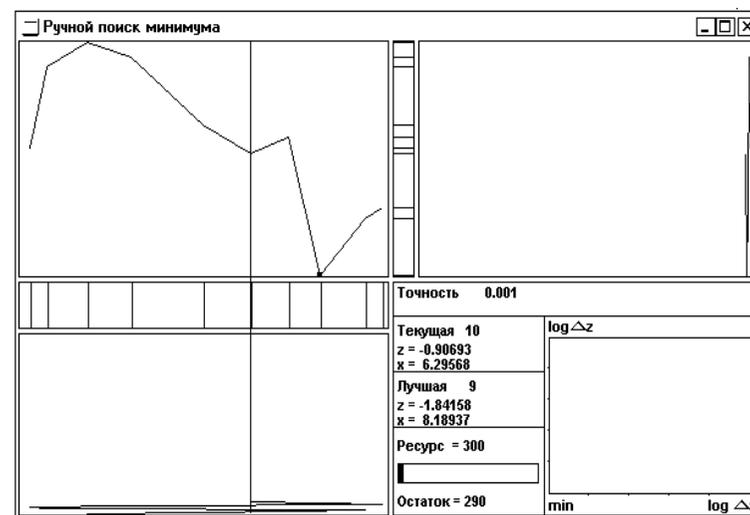


Рис. 22. Вид окна ручного поиска после выполнения нескольких итераций

может осуществляться и при помощи клавиатуры (клавиши ← и → используются для перемещения визира влево и вправо соответственно, вычисление значения функции производится по нажатию клавиши **Enter**).

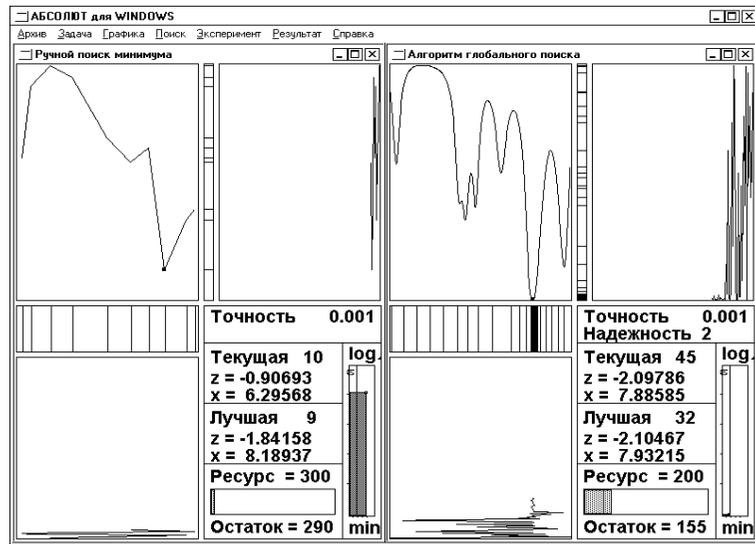


Рис. 23. Сравнение ручного поиска с методами оптимизации

4. **Завершение поиска.** Для указания о завершении минимизации текущей задачи оптимизации (в ситуациях, например, когда оптимизатор предполагает, что глобальный минимум найден с требуемой точностью) следует последовательно выполнить команды **➤Поиск ➤Сравнить**. В результате выполнения этой команды в окне ручного поиска показывается погрешность найденной оценки глобального минимума, оптимизационная задача, сгенерированная для ручного поиска, копируется во все имеющиеся окна и осуществляется решение этой задачи (с демонстрацией графика функции) при помощи установленных в этих окнах стандартных методов (см. Рис. 23). После выполнения команды визир ручного поиска не высвечивается и продолжение итераций ручного поиска невозможно.

5. **Следующий эксперимент.** В режиме ручного поиска может быть выполнено несколько экспериментов по решению задач многоэкстремальной оптимизации. Для перехода к следующему эксперименту следует последовательно выполнить команды **➤Задача ➤Перейти к следующей**.

6. **Завершение режима ручного поиска.** Для завершения режима ручного поиска следует последовательно выполнить команды **➤Архив ➤Заккрыть ручной поиск**.

Выполнение ручного поиска осуществляется под управлением меню, в котором представлено большинство команд основного меню системы АБСОЛЮТ (за исключением тех команд, которые не могут быть применены в режиме ручного поиска).

Задания и упражнения:

Выполните несколько экспериментов по решению задач многоэкстремальной оптимизации в режиме ручного поиска. Сравните эффективность ручного поиска с эффективностью автоматических методов глобального поиска.

7. Использование результатов экспериментов: запоминание, печать и перенос в другие программы

7.1. Запоминание результатов

В любой момент результаты оптимизации могут быть сохранены в архиве системы АБСОЛЮТ. Данные могут быть сохранены в трех различных формах:

- параметры задачи оптимизации из активного окна;
- все параметры активного окна;
- все параметры всех существующих в данный момент времени окон.

Данные, сохраняемые для окна проведения эксперимента, содержат параметры минимизируемой функции, номер выбранного метода, значения параметров метода, результаты глобального поиска, оценку операционной характеристики метода, данные журнала экспериментов.

Данные, сохраненные в архиве системы, в любой момент могут быть восстановлены из архива и, тем самым, оптимизатор может продолжать выполнение своих экспериментов в течение нескольких сеансов работы с системой АБСОЛЮТ.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Запись данных.** Для сохранения результатов выполненных экспериментов следует выбрать пункт меню **Архив**, затем указать команду **Сохранить** и выполнить далее одну из следующих команд:

- **Задачу** - для сохранения в архиве системы параметров задачи активного окна;
- **Задание** - для сохранения в архиве системы всех параметров активного окна;
- **Все задания** - для сохранения всех параметров для всех имеющихся окон.

При выполнении команд записи в диалоговом окне **Сохранить файл как** следует задать имя файла, в котором будут сохранены данные.

Расширение имени файла может не указываться; в случае задания расширения рекомендуется придерживаться принятых в системе АБСОЛЮТ соглашений (для файлов с параметрами задачи принято расширение имени файла **opf**, для файлов со всеми параметрами активного окна (заданий) - расширение **opt**, для файлов с параметрами всех окон (всех заданий) - расширение **ops**).

2. Чтение данных. Для чтения параметров экспериментов, записанных ранее в архив системы АБСОЛЮТ, следует выбрать пункт меню **Архив**, затем указатель команду **Загрузить** и выполнить далее одну из следующих команд:

- **Задачу** - для определения задачи оптимизации в активном окне по запомненным ранее в архиве системы параметрам многоэкстремальной функции;
- **Задание** - для создания нового окна по запомненным ранее в архиве системы параметрам проведения эксперимента.

Чтение параметров для создания нескольких окон может быть выполнено только в момент запуска системы АБСОЛЮТ. Завершите работу системы и выполните ее повторный запуск (другой возможный способ перехода в начальное состояние системы состоит в закрытии всех имеющихся окон проведения экспериментов, например, при помощи команды **Закрыть все** пункта меню **Эксперимент**). Далее выполните последовательно команды **Начало** **Загрузить пакет заданий**.

Следует отметить, что при выполнении действий с архивом системы должно выдерживаться определенное соответствие команд. Команда **Загрузить задачу** может быть применена к чтению параметров из файла только в том случае, если в этот файл данные были записаны по команде **Сохранить задачу**. Таким же образом должно обеспечиваться соответствие команд **Загрузить задание** и **Сохранить задание**, а также команд **Загрузить пакет заданий** и **Сохранить все задания**.

Задания и упражнения:

Выполните вычислительные эксперименты, план проведения которых состоит в следующем:

- выполните эксперимент и запомните параметры выполненного эксперимента в архиве системы;

- завершите выполнение системы;
- выполните повторный запуск системы и загрузите запомненные параметры эксперимента из архива.

7.2. Печать результатов оптимизации

При выполнении экспериментов в системе АБСОЛЮТ получаемые результаты оптимизации могут быть напечатаны в виде разнообразных графических диаграмм, таблиц и графиков. Пользователь системы может напечатать:

- общие результаты оптимизации,
- графики операционных характеристик,
- таблицы результатов, сформированные по данным из журналов экспериментов,
- графические формы, являющиеся точными копиями содержимого окон проведения экспериментов.

Для печати результатов экспериментов могут быть использованы также стандартные возможности печати системы Windows при помощи копирования содержимого экрана.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Печать общих результатов.** Для печати общих результатов следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Итоги ➤Показать** и в появившемся диалоговом окне **Таблица результатов** нажать кнопку **Печать**.

2. **Печать операционных характеристик.** Для печати операционных характеристик для всех имеющихся окон экспериментов следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Операционные характеристики** и в появившемся диалоговом окне **Операционные характеристики** нажать кнопку **Печать**. Для печати операционной характеристики только для активного окна можно воспользоваться печатью общих результатов.

3. **Печать журнала экспериментов.** Для печати результатов, запомненных в журнале экспериментов активного окна, следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Показать** и в появившемся диалоговом окне **Результаты экспериментов** нажать кнопку **Печать**.

4. **Печать всех журналов экспериментов.** Для печати результатов из всех имеющихся окон, запомненных в журналах экспериментов, следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Сравнить** и в появившемся диалоговом окне **Результаты экспериментов** нажать кнопку **Печать**.

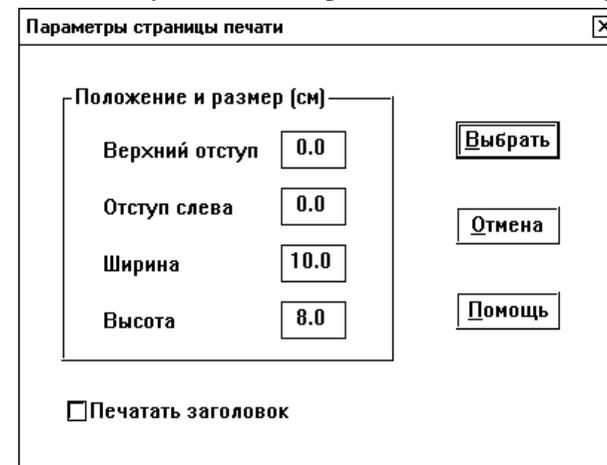


Рис. 24. Диалоговое окно для задания параметров страницы печати

5. **Печать окон экспериментов.** Для печати содержимого окон экспериментов следует последовательно выполнить команды **➤Архив ➤Печать ➤Во всех окнах** (для печати содержимого только активного окна следует выполнить команды **➤Архив ➤Печать ➤В активном окне**).

Перед выполнением печати может быть выполнена настройка печатающего устройства (**➤Архив ➤Настройка печати**) и указаны параметры страницы печати (**➤Архив ➤Параметры страницы**). В появляющемся при исполнении команды **Параметры страницы** диалоговом окне **Параметры страницы печати** (см. Рис. 24) может быть установлен режим печати заголовка и наименования страницы печати. Для этого необходимо указать курсором мыши строку **Печатать заголовок** и нажать левую кнопку мыши (при правильном

выполнении действий в кнопке выбора перед наименованием режима должна появиться метка ✓). В режиме печати заголовок перед печатью страницы будет появляться диалоговое окно **Заголовок и наименование страницы печати** (см. Рис. 25), в котором можно установить заголовок и наименование страницы печати. Заголовок страницы печати печатается в верхней части страницы печати, наименование страницы печатается снизу под содержимым напечатанной формы.

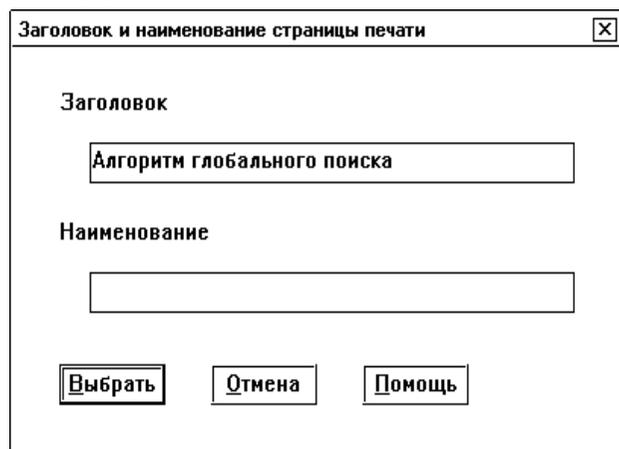


Рис. 25. Диалоговое окно для задания заголовка и наименования страницы печати

Задания и упражнения:

Выполните эксперименты и напечатайте общие результаты оптимизации и результаты, записанные в журнал экспериментов.

7.3. Копирование результатов в другие программы

При выполнении оптимизационных экспериментов в системе АБСОЛЮТ получаемые результаты глобального поиска могут быть скопированы в буфер обмена системы Windows в текстовом и графических форматах и могут, тем самым, быть перемещены в любые

другие программы системы Windows для последующего анализа и обработки. В буфер обмена могут быть скопированы:

- таблицы результатов, сформированные по данным из журналов экспериментов (в текстовом формате);
- графическое представление окна системы АБСОЛЮТ со всеми имеющимися окнами для проведения экспериментов.

Результаты экспериментов, скопированные в буфер обмена в текстовом формате, могут быть далее перенесены в текстовый редактор Word или систему обработки электронных таблиц Excel. Графическое представление окон экспериментов может быть далее использовано в графических редакторах типа Paint или Corel.

Правила использования системы АБСОЛЮТ:

1. **Копирование результатов журнала экспериментов.** Для копирования результатов, запомненных в журнале экспериментов активного окна, в буфер обмена системы Windows следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Показать** и в появившемся диалоговом окне **Результаты экспериментов** нажать кнопку **Копировать**.

2. **Копирование результатов всех журналов экспериментов.** Для копирования результатов, запомненных в журналах экспериментов всех имеющихся окон, в буфер обмена системы Windows следует последовательно выполнить команды **➤Результат ➤Журнал экспериментов ➤Сравнить** и в появившемся диалоговом окне **Результаты экспериментов** нажать кнопку **Копировать**.

3. **Копирование окна системы АБСОЛЮТ.** Для копирования графического представления окна системы АБСОЛЮТ в буфер обмена системы Windows следует последовательно выполнить команды **➤Архив ➤Копировать в буфер обмена**.

Задания и упражнения:

Выполните вычислительные эксперименты, план проведения которых состоит в следующем:

- выполните несколько вычислительных экспериментов;
- скопируйте данные журнала экспериментов в буфер обмена;
- запустите текстовый редактор Word и вставьте в текстовый документ результаты экспериментов из буфера;

– запустите систему обработки электронных таблиц Excel и вставьте в таблицу результаты экспериментов из буфера. Преобразуйте средствами системы Excel скопированные данные из текстового формата в числовую форму;

– скопируйте в системе АБСОЛЮТ графическое представление окон экспериментов в буфер обмена;

– запустите графический редактор Paint и вставьте в рабочую область редактора содержимое буфера обмена.

ЧАСТЬ 2.

Изучаем алгоритмы глобального поиска

8. Общее описание методов многоэкстремальной оптимизации

Описание методов глобального поиска, реализованных в системе АБСОЛЮТ, проводится в соответствии со схемой характеристической представимости алгоритмов оптимизации (см. раздел 3 пособия). Согласно этой схеме, выполнение итерации поиска включает:

- вычисление характеристик $R(i)$ для всех интервалов, на которые разбивается область поиска точками предшествующих итераций;
- нахождение интервала с максимальной характеристикой $R(t)$;
- определение в интервале с максимальной характеристикой точки x^{k+1} очередного испытания.

Тем самым, для определения конкретного метода в рамках характеристической схемы достаточно указать правила получения характеристик интервалов и точек выполняемых испытаний.

При изучении рассматриваемых ниже методов рекомендуется использование дополнительной учебно-научной литературы, на которую имеются ссылки в пособии. Занятия по теоретическому изучению алгоритмов глобального поиска целесообразно сопровождать вычислительными экспериментами для разнообразных задач многоэкстремальной оптимизации (возможный план проведения экспериментов приведен в разделе 10 пособия). Эксперименты иллюстрируют теоретические свойства изучаемых методов, их связь с характером исходных предположений о классе минимизируемых функций, зависимость от выбранных значений параметров алгоритмов и т.п.

Во всех описываемых ниже методах величины z^i , $1 \leq i \leq k$, означают вычисленные в точках x^i , $1 \leq i \leq k$, значения функции $f(x)$, т.е. $z^i = f(x^i)$.

8.1. Метод полного перебора

Метод полного перебора, используя схему характеристической представимости алгоритмов оптимизации, можно определить следующим образом:

Характеристика интервала (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$,

$$R(i) = x_i - x_{i-1}$$

Правило выбора точки нового испытания

$$x^{k+1} = 0.5(x_{i-1} + x_i)$$

Поясним, что в качестве характеристики интервала выбрана его длина. Точка нового испытания выбирается в середине самого длинного интервала.

Условие остановки

Поиск прекращается при исчерпании заданного количества итераций (*останов по числу итераций*).

Правило оценки экстремума

В качестве решения принимается точка той итерации, которой соответствует минимальное из всех вычисленных значений функции

$$z_k^* = f(x_k^*) = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i)$$

Дополнительная информация о методе может быть получена, например, в [20].



Задания и упражнения:

Выполните задание 3 раздела 10.

8.2. Метод случайного поиска

Известная схема *случайного поиска* (см., например, [21-22]), согласно которой точка очередной итерации определяется значением (реализацией) ξ случайной величины, равномерно распределенной в интервале $[a, b]$, может быть приведена к характеристической форме, если принять, что:

Характеристика интервала (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$,

$$R(i) = (x_i - \xi)(\xi - x_{i-1}),$$

Правило выбора точки нового испытания

$$x^{k+1} = \xi.$$

Поясним, что величина ξ есть реализация случайной величины, равномерно распределенной в области поиска $[a, b]$. Механизмом получения такой величины может быть любой датчик (или генератор) псевдослучайных чисел.

Условие остановки

Поиск прекращается при исчерпании заданного количества итераций (*останов по числу итераций*).

Правило оценки экстремума

В качестве решения принимается точка той итерации, которой соответствует минимальное из всех вычисленных значений функции

$$z_k^* = f(x_k^*) = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i)$$

Дополнительная информация о методе может быть получена, например, в [21-22].



Задания и упражнения:

Выполните задание 4 раздела 10.

8.3. Метод ломаных

Метод ломаных (алгоритм Пиявского), следуя схеме характеристической представимости алгоритмов оптимизации, можно определить следующим образом:

Характеристика интервала (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$,

$$R(i) = 0.5M(x_i - x_{i-1}) - 0.5(z_i + z_{i-1})$$

Правило выбора точки нового испытания

$$x^{k+1} = 0.5(x_{i-1} + x_i) - 0.5(z_i - z_{i-1}) / M.$$

Постоянная M ($M > 0$) является оценкой константы Липшица и является *параметром метода*, задаваемым перед началом поиска. Задание величины M с недостатком ($M < L$, где L - константа Липшица для $f(x)$ из (3)) может привести к не обнаружению глобального минимума; задание параметра с избытком снижает эффективность работы метода.

При использовании метода ломаных от обучаемого требуется задание значения величины M . В рамках системы АБСОЛЮТ проводится автоматическая оценка точной нижней грани множества констант, при которых выбранная для минимизации функция удовлетворяет условию Липшица (3). Полученная оценка используется в качестве начального значения величины M (что соответствует наилучшим условиям использования метода). Обучаемый может изменить значения параметра M и оценить поведение метода ломаных при задании константы Липшица с недостатком или избытком (при решении реальных задач многоэкстремальной оптимизации исследователь должен оценивать значение величины M самостоятельно).

Характеристика интервала представляет собой оценку (с обратным знаком) минимально возможного значения минимизируемой функции на интервале (при данном параметре M), а точка нового испытания выбирается в позиции, где достигается эта оценка.

Условие останова

Итерации прекращаются, если

– либо точка нового испытания попадает в интервал, длина которого меньше требуемой точности ε (*останов по точности*)

$$|x_i - x_{i-1}| \leq \varepsilon;$$

– либо исчерпано заданное количество итераций K (*останов по числу итераций*)

$$k \geq K.$$

Правило оценки экстремума

В качестве решения принимается точка той итерации, которой соответствует минимальное из всех вычисленных значений функции

$$z_k^* = f(x_k^*) = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i).$$

Дополнительная информация о методе может быть получена, например, в [9].

 **Задания и упражнения:**

Выполните задание 5 раздела 10.

8.4. Одношаговый байесовский алгоритм

В соответствии со схемой характеристической представимости алгоритмов оптимизации *одношаговый байесовский метод* может быть определен следующими соотношениями:

Характеристика интервала (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$,

$$R(i) = \max\{Q(x) : x \in [x_{i-1}, x_i]\}$$

Правило выбора точки нового испытания

$$x^{k+1} = \arg \max\{Q(x) : x \in [x_{i-1}, x_i]\},$$

где

$$Q(x) = \sigma_k(x) \int_{-\infty}^{d_k(x)} \Pi(z) dz, \quad \Pi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \ell \frac{u^2}{2} du,$$

$$d_k(x) = \frac{z_k^* - m_k(x)}{\sigma_k(x)}, \quad \sigma_k(x) = \sigma \sqrt{\frac{(x - x_{i-1})(x_i - x)}{(x_i - x_{i-1})}},$$

$$m_k(x) = \frac{z_i(x - x_{i-1}) + z_{i-1}(x_i - x)}{(x_i - x_{i-1})}.$$

Величина $\sigma > 0$ есть *параметр алгоритма*.

Алгоритм реализует очередную итерацию в точке, которой соответствует максимальное среднее улучшение текущего приближения (по значению функции) на данном шаге. Процедура построения оценки указанного среднего основана на предположении, что минимизируемая функция является реализацией винеровского процесса с параметром σ . Указанное решающее правило дополнено методом локального уточнения, основанным на квадратичной аппроксимации функции в окрестностях локальных минимумов. Запуск локального метода определяет эвристическое правило, согласно которому принимается, что если значения функции в семи точках итераций, расположенных последовательно, монотонно убывают от левой точки к центральной (то есть от первой к четвертой) и монотонно возрастают от центральной точки к правой (то есть от четвертой к седьмой), то интервал между первой и седьмой точками считается окрестностью локального минимума. При визуализации минимизирующей последовательности точки, соответствующие процедуре поиска локального минимума, и точки, порождаемые исходным решающим правилом, основанным на статистической модели, высвечиваются разными цветами.

В системе АБСОЛЮТ метод представлен программой, опубликованной автором алгоритма. В выполненной реализации метода значение параметра σ оценивается по результатам нескольких начальных итераций, точки которых образуют равномерную сетку.

Дополнительная информация по методу может быть получена, например, в [12].

Задания и упражнения:

Выполните задание 6 раздела 10.

8.5. Метод Кушнера

В соответствии со схемой характеристической представимости алгоритмов оптимизации *метод Кушнера* может быть определен следующими соотношениями:

Характеристика интервала (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$,

$$R(i) = -\frac{4(z_k^* - \gamma - z_{i-1})(z_k^* - \gamma - z_i)}{(x_i - x_{i-1})}$$

Правило выбора точки нового испытания

$$x^{k+1} = x_{i-1} + \frac{(x_i - x_{i-1})(z_k^* - \gamma - z_{i-1})}{2(z_k^* - \gamma) - z_i - z_{i-1}}$$

Величина γ , $(0 < \gamma \leq 1)$ есть *параметр алгоритма*.

Данный метод, предложенный Х.Кушнером (H.Kushner), основан на вероятностной модели винеровского случайного процесса. Планирование испытаний осуществляется по критерию максимума вероятности улучшения оценки экстремума. Каждая очередная итерация метода Кушнера осуществляется в точке x^{k+1} , в которой достигается

$$\max_{a \leq x \leq b} P(f(x) \leq z_k^* - \gamma(z_k^+ - z_k^*)),$$

т.е. в точке x^{k+1} достигается максимум вероятности того, что $f(x^{k+1})$ не превысит величины

$$z_k^* - \gamma(z_k^+ - z_k^*),$$

где

$$z_k^* = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i), \quad z_k^+ = \max_{1 \leq i \leq k} f(x^i)$$

есть соответственно минимальное и максимальное значения функции $f(x)$, вычисленные на предшествующих итерациях поиска.

Оценка указанной вероятности основана на предположении, что минимизируемая функция есть реализация винеровского случайного процесса (модель "броуновского движения").

Условие остановки

Итерации прекращаются, если

– либо точка нового испытания попадает в интервал, длина которого меньше требуемой точности ε (*останов по точности*)

$$|x_t - x_{t-1}| \leq \varepsilon;$$

– либо исчерпано заданное количество итераций K (*останов по числу итераций*)

$$k \geq K.$$

Правило оценки экстремума

В качестве решения принимается точка той итерации, которой соответствует минимальное из всех вычисленных значений функции

$$z_k^* = f(x_k^*) = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i)$$

Дополнительная информация о методе может быть получена, например, в [17].

Задания и упражнения:

Выполните задание 7 раздела 10.

8.6. Алгоритм глобального поиска

Алгоритм глобального поиска определяется следующими соотношениями (см. схему характеристической представимости алгоритмов оптимизации):

Характеристика интервала (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$,

$$R(i) = m(x_i - x_{i-1}) + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{m(x_i - x_{i-1})} - 2(z_i + z_{i-1})$$

Правило выбора точки нового испытания

$$x^{k+1} = 0.5(x_{t-1} + x_t) - 0.5(z_t - z_{t-1}) / m.$$

Величина m является оценкой константы Липшица, определяемой по результатам проведенных испытаний

$$m = \begin{cases} 1, & M = 0, \\ rM, & M > 0, \end{cases}$$

где

$$M = \max_{1 \leq i \leq k} \frac{|z_i - z_{i-1}|}{(x_i - x_{i-1})},$$

и постоянная r ($r > 1$) является *параметром метода*. Выбор достаточно большого значения параметра обеспечивает выполнение неравенства $m > 2L$, гарантирующего сходимость к глобальному минимуму (см. [10]). С другой стороны, большие значения параметра r могут привести к увеличению числа итераций метода, выполняемых алгоритмом до срабатывания условия остановки.

В соответствии со схемой вывода метода (см. [10]), точка x^{k+1} может интерпретироваться как наиболее правдоподобная точка расположения оптимума (при имеющейся информации).

Условие остановки

Итерации прекращаются, если

– либо точка нового испытания попадает в интервал, длина которого меньше требуемой точности ε (*останов по точности*)

$$|x_t - x_{t-1}| \leq \varepsilon;$$

– либо исчерпано заданное количество итераций K (*останов по числу итераций*)

$$k \geq K.$$

Правило оценки экстремума

В качестве решения принимается точка той итерации, которой соответствует минимальное из всех вычисленных значений функции

$$z_k^* = f(x_k^*) = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i).$$

Дополнительная информация о методе может быть получена, например, в [10, 18].

Задания и упражнения:

Выполните задание 9-11 раздела 10.

8.7. Монотонный алгоритм глобального поиска

Монотонный алгоритм является модификацией алгоритма глобального поиска, которая состоит в применении алгоритма глобального поиска для минимизации преобразования

$$F(x) = \sqrt{1 - \left(\frac{z_k^+ - f(x)}{z_k^+ - z_k^*} \right)^2}$$

исходной минимизируемой функции $f(x)$, $a \leq x \leq b$. При этом

$$z_k^* = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i), \quad z_k^+ = \max_{1 \leq i \leq k} f(x^i).$$

Следует отметить, что преобразование (изменяющееся в процессе минимизации) сохраняет расположение точки глобального минимума. Введение преобразования может ускорять сходимость к точке оптимума, когда функция $f(x)$ является гладкой в окрестности минимума (см. [10], стр. 127-128).

 **Задания и упражнения:**

Выполните задание 12 раздела 10.

8.8. Локально-адаптивный алгоритм глобального поиска

Локально - адаптивный алгоритм является модификацией алгоритма глобального поиска, состоящей в том, что начиная с некоторого шага (задаваемого параметром "Шаг включения локальной адаптации") при выборе точек итераций используется дополнительная информация - текущие оценки плотности вероятности для расположения точки искомого оптимума. Оценки плотности определяются по значениям минимизируемой функции, вычисленным в точках выполненных итераций (т.е. плотность переоценивается после каждой итерации), причем максимумы плотности соответствуют окрестностям точек текущих минимальных значений. Параметр "Степень локальности" увеличивает влияние плотности на решающее правило алгоритма (см. [18], стр. 30-34).

В случае локально-адаптивного метода характеристика $R(i)$ алгоритма глобального поиска преобразуется к виду

$$R'(i) = \frac{R(i) - R^-}{\sqrt{(z_i - z_k^*)(z_{i-1} - z_k^*)} + 10^{-q}(b-a)m},$$

а правило вычисления новой точки остается без изменения.

Величина R^- в приведенном выражении для $R'(i)$ есть значение минимальной характеристики $R(i)$ на итерации k , т.е.

$$R^- = \min_{1 \leq i \leq k} R(i)$$

Целочисленный параметр q , $0 \leq q \leq 9$, указывает "степень локальности" метода. При $q = 0$ поиск имеет "глобальный", а при $q = 9$ - "локальный" характер.

При визуализации минимизирующей последовательности точки итераций, порожденных "глобальным" и "локальным" решающими правилами, отмечены вертикальными штрихами различного цвета.

 **Задания и упражнения:**

Выполните задание 13 раздела 10.

8.9. Смешанный алгоритм глобального поиска

Смешанный алгоритм является модификацией алгоритма глобального поиска, состоящей в том, что начиная с некоторого шага (задаваемого параметром "Шаг включения смеси"), итерации, определяемые решающим правилом алгоритма глобального поиска, чередуются с итерациями, определяемыми правилом локально - адаптивного алгоритма (при степени локальности, равной 9). Частота чередования локальных и глобальных итераций задается параметром "Смесь". При визуализации минимизирующей последовательности, точки итераций, порожденных "глобальным" и "локальным" решающими правилами, отмечены вертикальными штрихами различного цвета.

Дополнительная информация о методе может быть получена, например, в [18].

 *Задания и упражнения:*

Выполните задание 14 раздела 10.

8.10. Информационно - статистический алгоритм с локальной настройкой

Информационно - статистический метод с локальной настройкой определяется следующими соотношениями (см. схему характеристической представимости алгоритмов оптимизации):

Характеристика интервала (x_{i-1}, x_i) , $1 < i \leq k$,

$$R(i) = rm_i(x_i - x_{i-1}) + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{rm_i(x_i - x_{i-1})} - 2(z_i + z_{i-1})$$

Правило выбора точки нового испытания

$$x^{k+1} = 0.5(x_{i-1} + x_i) - 0.5(z_i - z_{i-1}) / rm_i.$$

Величина rm_i является оценкой константы Липшица, определяемой по результатам проведенных испытаний, причем

$$m_i = \max\{\lambda'_i, \lambda''_i\},$$

где величина λ'_i "отслеживает" локальные свойства минимизируемой функции и определяется следующим образом

$$\lambda'_i = \max\left\{\frac{|z_j - z_{j-1}|}{(x_j - x_{j-1})}, j = i-1, i, i+1\right\}.$$

(если в выражении для λ'_i интервал (x_{i-1}, x_i) самый левый, то

берется $j=1,2$, а если самый правый, то $j=k-1,k$). Величина λ''_i "учитывает" глобальные свойства минимизируемой функции и определяется как

$$\lambda''_i = \frac{M(x_i - x_{i-1})}{X_{\max}},$$

где
$$M = \max_{1 < i \leq k} \frac{|z_i - z_{i-1}|}{(x_i - x_{i-1})},$$

$$X_{\max} = \max\{x_i - x_{i-1}, 1 < i \leq k\}.$$

Если $m_i = 0$, то $m_i = \xi > 0$ и

$$x^{k+1} = 0.5(x_{i-1} + x_i).$$

Постоянная r ($r > 1$), используемая в приведенных соотношениях, является параметром метода.

Условие остановки

Итерации прекращаются, если

– либо точка нового испытания попадает в интервал, длина которого меньше требуемой точности ε (останов по точности)

$$|x_i - x_{i-1}| \leq \varepsilon;$$

– либо исчерпано заданное количество итераций K (останов по числу итераций)

$$k \geq K.$$

Правило оценки экстремума

В качестве решения принимается точка той итерации, которой соответствует минимальное из всех вычисленных значений функции

$$z_k^* = f(x_k^*) = \min_{1 \leq i \leq k} f(x^i)$$

Дополнительная информация о методе может быть получена, например, в [19].

 *Задания и упражнения:*

Выполните задание 15 раздела 10.

8.11. Задание параметров метода

Задание параметров метода осуществляется при помощи команды **Параметры** пункта меню **Метод** (см. пункт **Задание параметров** описания правил использования системы в разделе 3).

К числу параметров, являющихся **общими** для всех реализованных в системе методов, относятся следующие.

Количество итераций. Параметр устанавливает максимально допустимое число итераций, которые может выполнить алгоритм глобального поиска при решении задачи оптимизации и обычно используется для введения ресурсных ограничений на проведение вычислений. Поскольку на каждой итерации поиска выполняется вычисление только одного значения минимизируемой функции, этот параметр определяет также ограничение на допустимое количество вычислений (испытаний) значений минимизируемой функции.

Точность поиска. Параметр задает значение δ , используемое при определении величины ε в условии останова метода (см. описание характеристической схемы в разделе 3). Согласно этому условию, выполнение метода прекращается, если точка очередной итерации выбирается в интервале, длина которого является меньшей ε , т.е.

$$x^{k+1} \in (x_{t-1}, x_t) : |x_t - x_{t-1}| \leq \varepsilon = \delta(b-a).$$

Тем самым, значение δ соответствует требуемой относительной точности (в долях исходного интервала поиска $[a, b]$) выполнения глобального поиска.

Описываемые далее параметры не являются общими и используются только для отдельных методов оптимизации.

Оценка константы Липшица. Параметр метода ломаных (см. описание метода в подразделе 8.3) используется для задания константы Липшица. Задание оценки константы с недостатком ($M < L$, где L - константа Липшица для $f(x)$ из (3)) может привести к не обнаружению глобального минимума; задание параметра с избытком снижает эффективность работы метода.

Параметр метода Кушнера. Параметр γ используется при определении точек испытаний в методе Кушнера, согласно которому каждая очередная итерация осуществляется в точке x^{k+1} , в которой достигается

$$\max_{a \leq x \leq b} P(f(x) \leq z_k^* - \gamma(z_k^+ - z_k^*)),$$

где величины z_k^* и z_k^+ есть соответственно минимальное и максимальное значения минимизируемой функции, вычисленные на предшествующих итерациях глобального поиска.

Коэффициент надежности. Параметр r применяется в информационно-статических алгоритмах глобального поиска (методы, описанные в подразделах 8.6-8.10). Выбор достаточно большого значения параметра обеспечивает выполнение неравенства $m > 2L$, гарантирующего сходимость к глобальному минимуму (см. [10]). С другой стороны, большие значения параметра r могут привести к увеличению числа итераций метода, выполняемых алгоритмом до срабатывания условия останова.

Степень локальности. Параметр локального адаптивного метода (подраздел 8.8) используется для регулирования величины влияния схемы локальной адаптации на решающее правило алгоритма.

Шаг включения локальной адаптации. Параметр локального адаптивного метода (подраздел 8.8) задает номер итерации, начиная с которой должен использоваться локально-адаптивный вариант алгоритма глобального поиска.

Смесь. Параметр смешанного метода глобального поиска (подраздел 8.9) задается в виде пары целочисленных значений $m : n$. При $n=1$ на одну итерацию, выполняемую по правилу локально адаптивного метода, будет исполняться m итераций алгоритма глобального поиска. При $m=1$ чередование методов становится обратным: на одну итерацию алгоритма глобального поиска приходится n итераций локально адаптивного метода.

Шаг включения локальной смеси. Параметр смешанного метода (подраздел 8.9) задает номер итерации, начиная с которой применяется описанная выше схема смешивания алгоритмов. До момента включения смеси выполняется алгоритм глобального поиска.

ЧАСТЬ 3.

Применение системы АБСОЛЮТ в обучении и исследованиях

9. Использование системы АБСОЛЮТ в учебном процессе

Система АБСОЛЮТ ориентирована на широкий спектр учебных (общих и специальных) дисциплин, включающих разделы по принятию оптимальных решений, и может служить основой для создания соответствующего лабораторного практикума по курсам:

- методы оптимизации (раздел - алгоритмы решения многоэкстремальных задач);
- исследование операций (раздел - однопараметрические модели выбора и методы их исследования);
- системы автоматизированного проектирования (раздел - оптимальное проектирование);
- пакеты прикладных программ (раздел - пакеты принятия решений);
- системный анализ (раздел - идентификация моделей по экспериментальным данным)

и др.

Проведение лабораторных занятий с использованием средств комплекса АБСОЛЮТ может быть ориентировано по следующим основным направлениям:

- изучение способов постановки задач оптимизации;
- освоение реализованных в рамках комплекса АБСОЛЮТ методов многоэкстремальной оптимизации;
- изучение влияния параметров методов на строение минимизирующих последовательностей;

- демонстрация теоретических результатов, связанных со сходимостью характеристических алгоритмов поиска экстремума (двухсторонняя сходимость; "всюду плотная" сходимость; сходимость только к точкам глобального минимума; сходимость ко всем точкам глобального минимума и только к ним);

- исследование влияния поведения минимизируемой функции на характер сходимости методов; анализ связи с априорными предположениями о функции, использованными при построении того или иного алгоритма поиска экстремума;

- сравнение эффективности методов через сравнение плотностей поисковых испытаний.

Наряду с теоретическими и практическими аспектами изучения численных методов оптимизации система АБСОЛЮТ обеспечивает:

- овладение технологией и методикой решения сложных оптимизационных задач;

- навыки работы в среде интеллектуальной программной системы, снабженной дружественным интерфейсом;

- наглядную демонстрацию средствами цветной дисплейной графики сложных понятий и процессов;

- обучение выполнению операций (выбор, создание, редактирование) со сложными информационными структурами (аналитическими, графическими и др.).

Лабораторные занятия, проводимые при использовании комплекса АБСОЛЮТ, могут проводиться, например, по следующему плану:

- обучаемый для одной или нескольких заданных функций решает задачу (задачи) минимизации несколькими методами поиска экстремума с заданными параметрами, сопоставляет результаты и дает их интерпретацию в рамках теории сходимости характеристических алгоритмов;

- обучаемый самостоятельно конструирует средствами комплекса несколько функций таким образом, чтобы при их минимизации продемонстрировать основные теоретические факты характеристической теории сходимости;

- обучаемый самостоятельно формирует одну или несколько функций и решает задачи их минимизации одним из методов при

различных значениях параметров, изучая тем самым влияние параметров на процесс оптимизации;

– обучаемый самостоятельно конструирует одну или несколько функций и минимизирует их различными алгоритмами, сопоставляет эффективность этих алгоритмов;

– обучаемый самостоятельно выбирает точки итераций (ручной поиск) и сравнивает эффективность такого выбора с автоматическими процедурами (соревнование);

– обучаемый конструирует свой метод и исследует его.

Более подробно рекомендуемая тематика занятий описана в следующем разделе.

10. Тематика предлагаемых учебных занятий

При практическом использовании комплекса АБСОЛЮТ в обучении можно рекомендовать следующую схему проведения лабораторных занятий.

10.1. Общее знакомство с возможностями системы

Задание 1. *Общие принципы использования системы АБСОЛЮТ.*

Основные правила взаимодействия с системой. Организация управления при помощи манипулятора мышью. Способы получения справочной информации.

Задание 2. *Освоение способов задания минимизируемой функции.*

Выбор задачи из стандартного набора. Генерация реализаций случайной функции. Аналитическое задание в виде формульного выражения. Изменение функции при помощи графического редактора. Просмотр справочной информации по выбранным постановкам оптимизационных задач.

10.2. Изучение характеристических алгоритмов глобального поиска

Задание 3. *Изучение метода полного перебора.*

Проведение вычислительных экспериментов с методом полного перебора для разных задач многоэкстремальной оптимизации. Понятие "всюду плотной" сходимости минимизирующих последовательностей. Характеристика полного перебора как метода нулевого порядка (порождаемые методом минимизирующие последовательности не зависят от результатов проводимых итераций).

Задание 4. Изучение метода случайного поиска.

Проведение вычислительных экспериментов с методом случайного поиска. Сопоставление алгоритма с методом полного перебора. Оценка равномерности распределения точек испытаний при помощи графической формы "Плотность (гистограмма) поиска по координате".

Изучение способов управления поиском в комплексе АБСОЛЮТ. Изменение темпа показа. Пошаговый режим исполнения оптимизационных итераций.

Задание 5. Изучение метода ломаных.

Проведение вычислительных экспериментов с методом ломаных (Пиявского). Знакомство с подходом, на основе которого разработан алгоритм. Понятие константы Липшица. Интерпретация параметра метода как оценки константы Липшица. Запуск метода для одной и той же задачи оптимизации при разных значениях параметра (равным константе Липшица, превышающим константу Липшица, задающим константу Липшица с недостатком).

Изучение графических форм комплекса АБСОЛЮТ для наблюдения за минимизирующими последовательностями:

– форма "*Распределение точек испытаний и значений минимизируемой функции*" и определение при ее помощи предельных точек минимизирующей последовательности;

– форма "*Траектория поиска по координате и по значению функции*" и оценка по этому графику стадий глобального поиска (начальное распределение точек испытаний, выделение перспективных подобластей, поиск в окрестности глобального минимума);

– форма "*Плотность поиска по координате и по значению функции*" и характеристика при ее помощи эффективности оптимизационных методов (равномерное распределение итерационных точек по области поиска, концентрация испытаний в окрестности глобального минимума).

Правила включения и отключения графических форм.

Задание 6. Изучение одношагового байесовского алгоритма.

Проведение вычислительных экспериментов с методом Жилинскаса. Общее представление о модели минимизируемой функции, использованной при разработке алгоритма. Эвристическое правило локального уточнения. Минимизация разных задач многоэкстремальной оптимизации. Оценка ситуаций поиска, при которых поведение функции не соответствует применяемому эвристическому правилу.

Задание 7. Изучение метода Кушнера.

Проведение вычислительных экспериментов с методом Кушнера. Общее представление о модели минимизируемой функции, использованной при разработке алгоритма. Минимизация разных задач многоэкстремальной оптимизации при одном и том же значении параметра метода. Оценка поведения работы метода при повышении необходимой точности нахождения глобального минимума. Обеспечение сходимости метода за счет всюду плотной сходимости порождаемых алгоритмом минимизирующих последовательностей.

Изучение способов выветки минимизируемой функции в процессе поиска. Прерывание работы метода. Показ кусочно-линейной модели функции по результатам проведенных итераций поиска.

Задание 8. Изучение правил использования механизма увеличительного стекла (лупы).

Включение режима. Выбор кратности увеличения. Перемещение лупы. Установка увеличительного стекла на лучшую точку. Перемещение визира. Установка лупы по визиру.

Оценка плотности распределения точек проведенных испытаний для всех ранее рассмотренных алгоритмов в интервалах различного поведения минимизируемой функции (интервалы монотонности, интервалы с точками локальных минимумов, интервалы с точками глобального экстремума). Классификация методов по свойствам сходимости порождаемых минимизирующих последовательностей ("всюду плотная" сходимость, сходимость только к точкам, обладающим свойством экстремальности, сходимость ко всем точкам глобального минимума и только к ним).

10.3. Изучение информационно-статистических алгоритмов глобального поиска

Задание 9. Изучение алгоритма глобального поиска.

Проведение вычислительных экспериментов с базовым методом информационно-статистической теории многоэкстремальной оптимизации - алгоритмом глобального поиска Стронгина. Общее представление о модели минимизируемой функции, использованной при разработке метода. Констатация факта двухсторонней сходимости к предельным точкам минимизирующих последовательностей. Оценка плотности распределения точек проведенных испытаний.

Задание 10. Изучение численной схемы оценки константы Липшица.

Использование абсолютных значений относительных первых разностей для оценки константы Липшица. Интерпретация параметра метода как указания необходимой степени надежности поиска. Оценка влияния значения параметра на скорость сходимости метода. Минимизация задач многоэкстремальной оптимизации при разных значениях параметра.

Задание 11. Применение алгоритма для оптимизации задач специального вида.

Применение метода для специальных классов задач оптимизации: линейной, кусочно-линейной (модуля), квадратичной, и т.д. Оценка соответствия используемой в методе модели минимизируемой функции решаемой задачи оптимизации.

Задание 12. Изучение монотонного алгоритма глобального поиска.

Проведение вычислительных экспериментов с монотонным алгоритмом глобального поиска. Интерпретация применяемого в методе правила преобразования функции как средства приведения в соответствие модели минимизируемой функции, использованной при выводе алгоритма, и решаемой задачи. Сравнение базового метода и монотонного алгоритма при решении одних и тех же экстремальных задач (в качестве контрольной задачи может быть выбрана, например, функция № 1 стандартного набора).

Задание 13. Изучение локально-адаптивного алгоритма глобального поиска.

Построение при помощи графического редактора функций задач с разным количеством локальных минимумов ("мало-экстремальные" задачи оптимизации, существенно многоэкстремальные функции). Численные эксперименты с локально-адаптивным алгоритмом глобального поиска. Интерпретация степени локальности как способа задания априорной информации о решаемой задаче оптимизации.

Сравнение базового метода и адаптивного алгоритма при решении одних и тех же экстремальных задач (для контрольного примера можно использовать функцию № 5 стандартного набора).

Задание 14. Изучение смешанного алгоритма глобального поиска.

Построение при помощи графического редактора функций задач с разными зонами притяжения для точек глобального минимума. Численные эксперименты со смешанным алгоритмом глобального поиска. Минимизация функций при разных сочетаниях локальной и глобальной компонент метода. Вариация моментов включения локальных схем. Сравнение базового метода и смешанного алгоритма при решении одних и тех же экстремальных задач (в качестве контрольных задач целесообразно использовать функции № 2 и № 3 стандартного набора).

Задание 15. Изучение метода с локальной оценкой разностей.

Построение при помощи графического редактора функций задач интервалами различного поведения минимизируемой функции (плавное изменение значений функции, резкий подъем или спад и т.п.). Численные эксперименты с алгоритмом глобального поиска при локальном оценивании константы Липшица (модификация Сергеева). Поведение метода при несоответствии модели поведения функции и решаемой задачи. Сравнение базового метода и алгоритма с локальной оценкой разностей при решении одних и тех же экстремальных задач (для получения различающихся эффектов можно выбрать для решения функции № 2 и № 5 стандартного набора).

Задание 16. Решение задач, имеющих несколько точек глобального минимума.

Оценка сходимости информационно-статистических алгоритмов глобального поиска ко всем точкам наименьшего значения минимизируемой функции.

Задание 17. *Оценка устойчивости информационно-статистических алгоритмов.*

Проведение вычислительных экспериментов для выявления свойства инвариантности минимизируемых последовательностей, порождаемых информационно-статистическими алгоритмами глобального поиска при линейных преобразованиях минимизируемой функции. Устойчивость глобального поиска при малых вариациях решаемой задачи оптимизации.

10.4. Попарное сравнение алгоритмов глобального поиска

Задание 18. *Сравнение методов полного перебора и случайного поиска.*

Выполнение минимизации нескольких задач многоэкстремальной оптимизации для сравнения методов полного перебора и случайного поиска. Выявление различий в характере "всюду плотной" сходимости минимизирующих последовательностей, порождаемых сравниваемыми методами.

Задание 19. *Сравнение методов нулевого порядка и алгоритма Кушнера.*

Сравнить один из методов нулевого порядка (полный перебор и случайный поиск) с алгоритмом Кушнера. Представление о возможности неравномерного распределения точек испытаний при "всюду плотной" сходимости минимизирующих последовательностей.

Задание 20. *Сравнение алгоритма Кушнера и метода ломаных.*

Выполнение вычислительных экспериментов для сравнения алгоритма Кушнера и метода ломаных (Пиявского). Выявление факта сходимости минимизирующих последовательностей, порождаемых методом Пиявского, только к экстремальным точкам решаемых задач оптимизации.

Задание 21. *Сравнение метода ломаных и алгоритма глобального поиска.*

Выполнение вычислительных экспериментов для сравнения метода ломаных и алгоритма глобального поиска. Оценивание по

результатам проведенных вычислительных экспериментов экономичности каждого из сравниваемых методов многоэкстремальной оптимизации.

Задание 22. *Сравнение информационно-статистических алгоритмов глобального поиска.*

Выполнение вычислительных экспериментов для имеющихся в составе комплекса АБСОЛЮТ информационно-статистических алгоритмов глобального поиска (сравниваемые пары методов в этих экспериментах следует формировать выбором одного и того же алгоритма, для которого устанавливаются разные значения параметров). Оценивание влияния значений коэффициентов методов на характер сходимости порождаемых минимизирующих последовательностей. Формулирование на основе проведенных экспериментов рекомендаций по выбору величин этих параметров.

11. Исследование методов глобального поиска с помощью системы АБСОЛЮТ

В данном разделе, в целях иллюстрации представлены результаты численных экспериментов, выполненных с помощью системы АБСОЛЮТ для анализа эффективности методов глобального поиска. Эти результаты могут также использоваться в целях самопроверки при изучении системы.

В первом эксперименте проводилась минимизация функции (см. [11])

$$f(x) = (3x - 1.4) \sin(18x), \quad x \in [0, 1.2]. \quad (5)$$

Глобальный минимум функции расположен в точке $x^* = 0.96609$ со значением функции в этой точке $z^* = -1.48907$.

Для решения этой задачи оптимизации использовался метод ломаных (Пиявского) [9] и алгоритм глобального поиска (АГП), разработанный Стронгиным [10]. Требуемая точность поиска устанавливалась равной 0.001 (т.к. в системе задается относительная точность, фактическая точность глобального поиска по координате есть $\varepsilon = 0.001(b - a)$). Для метода ломаных в этом и всех последующих экспериментах использовалась оценка точной нижней грани множества констант, при которых указанная функция удовлетворяет условию Липшица; для АГП значение параметра метода принималось равным $r = 2$.

Результаты эксперимента приведены на Рис. 17. Для каждого метода показан график минимизируемой функции, распределения и траектории точек испытаний и значений функции. Приведенные графики обоих методов показаны в едином масштабе для наглядности сравнения результатов. Для нахождения глобального минимума с требуемой точностью метод ломаных выполнил 63 итерации поиска, АГП провел только 49 итераций. Эти результаты могут быть объяснены тем фактом, что метод ломаных имеет большую плотность точек итераций в окрестности локальных минимумов минимизируемой функции. Этим методом выполнено также большее количество итераций в окрестности глобального минимума. Концентрация точек испытаний в окрестности минимумов является характерной и для АГП.

Для повышения скорости сходимости было предложено несколько модификаций АГП. В первой из них - в *монотонном методе* (ММ) - вместо минимизации целевой функции $f(x)$ проводится оптимизация функционала (см. п. 8.7)

$$F(x) = \sqrt{1 - \left(\frac{z_k^+ - f(x)}{z_k^+ - z_k^*} \right)^2},$$

где z_k^+ и z_k^* есть оценки максимального и минимального значения функции соответственно. В ряде ситуаций (например, в случае, когда минимизируемая функция является квадратичной в окрестности глобального минимума) это преобразование может привести к меньшей плотности точек итераций в окрестности минимума (функция становится "менее пологой" в этой окрестности).

Вторая модификация АГП есть *локально-адаптивный алгоритм* (ЛАА), в котором характеристика интервала вычисляется в соответствии с выражением (см. п. 8.8)

$$R'(i) = (R(i) - R^-) / [\sqrt{((z_i - z_k^*)(z_{i-1} - z_k^*))} + 10^{-q} m],$$

где $R(i)$ есть характеристика интервала в АГП; q , $1 \leq q \leq 9$, есть параметр метода (*степень локальности*) и

$$R^- = \min_{1 < i \leq k} R(i).$$

Подобная модификация метода позволяет увеличить характеристики интервалов с наименьшими значениями функции.

Результаты решения задачи (5) при помощи указанных модификаций приведены на Рис. 26. Количество итераций для монотонного метода оказалось равным 26, для локально адаптивного алгоритма выполнено 28 итераций поиска. Как и ранее, параметры метода устанавливались равными $r = 2$, а точность поиска была равна 0.001. Характеристика вида (6) применялась в ЛАА, начиная с 25

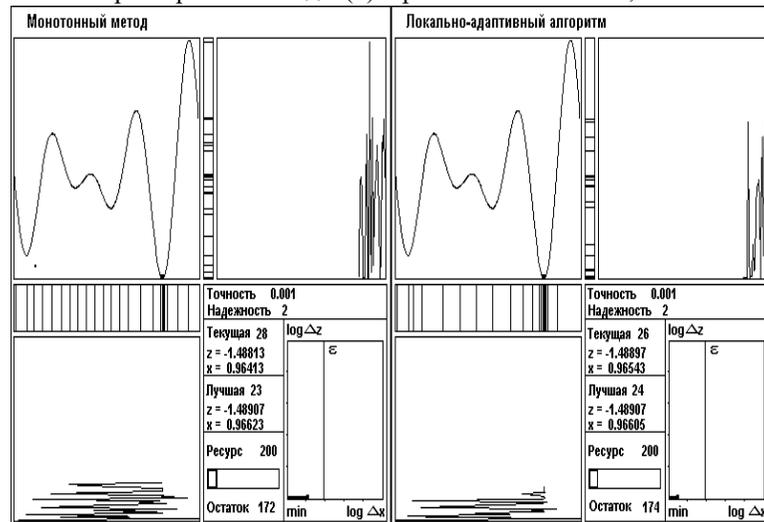


Рис. 26. Решение задачи оптимизации при помощи монотонного метода и локально-адаптивного алгоритма

итерации поиска при параметре локальности $q = 9$.

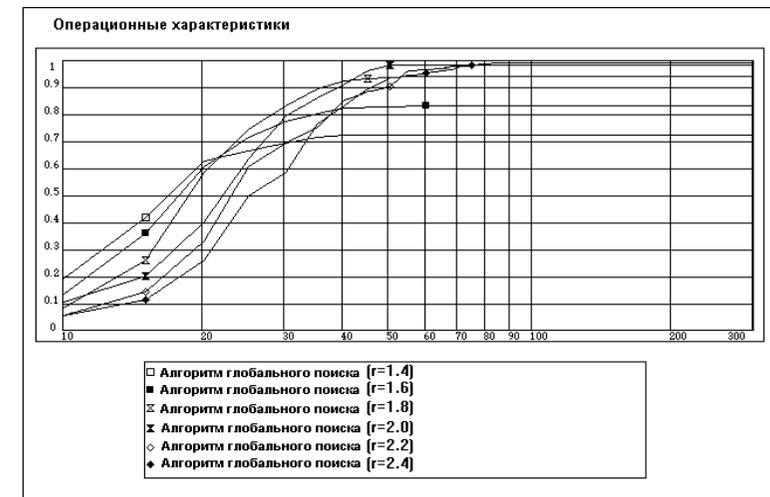


Рис. 27. Операционные характеристики АГП при разных значениях параметра надежности

Таблица 1. Численные результаты глобального поиска для АГП с разными значениями параметра надежности

	Значения параметра метода					
	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Количество функций	100	100	100	100	100	100
Среднее к-во итераций	27	34	39	45	51	55
Минимум найден с требуемой точностью						
Количество функций	72	83	94	98	98	99
Среднее к-во итераций	28	35	39	45	51	55
Требуемая точность не достигнута						
Количество функций	28	17	6	2	2	1
Среднее к-во итераций	26	32	36	28	31	30
Средняя погрешность (по координате)	0.375	0.444	0.439	0.214	0.231	0.229

Результаты экспериментов

N	1	2	3	4
1	41	141	67	20
2	43	113	57	28
3	108	48	102	173
4	92	200*	145	49
5	49	120	63	41
6	50	44	49	38
7	45	172	55	35
8	102	38	97	123
9	49	144	49	45
10	59	163	53	21
11	100	200*	133	71
12	87	200*	139	36
13	114	200*	200*	55
14	39	75	54	34
15	159	200*	200*	90
16	181	200*	200*	179
17	166	200*	200*	78
18	86	200*	107	27
19	44	151	47	25
20	41	62	200*	30
Средн.	82.8	143.6	110.8	59.9

1. Алгоритм глобального поиска
 2. Метод Кушнера
 3. Метод ломаных
 4. Одношаговый байесовский алгоритм

Рис. 28. Результаты оптимизации 20 многоэкстремальных задач



Рис. 29. Результаты оптимизации 20 многоэкстремальных задач при помощи АГП

В следующей серии экспериментов для сравнения методов глобального поиска выполнялись более длительные расчеты. Первоначально, для оценки целесообразного значения параметра надежности, АГП использовался для минимизации 100 случайно сгенерированных задач многоэкстремальной оптимизации при значениях параметра $r = 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4$ соответственно. Операционные характеристики, построенные по результатам выполненных экспериментов, приведены на Рис. 27. Как можно заметить, меньшие значения параметра метода улучшают показатели глобального поиска при небольшом количестве выполненных итераций, но надежность такой оптимизации является низкой (при решении ряда задач не была достигнута требуемая точность обнаружения глобального минимума). Если используются большие значения параметра метода, большинство задач оптимизации решается с требуемой точностью, вместе с тем, нахождение требуемой оценки глобального минимума требует выполнения большего количества

итераций. Результаты данного эксперимента в числовом виде представлены в Таблице 1.

Следующий эксперимент был выполнен для сравнения методов глобального поиска, разработанных при использовании разных теоретических моделей. Для решения задач многоэкстремальной оптимизации применялись:

- алгоритм глобального поиска (АГП) при $r = 2$ [10];
- метод Кушнера при $\gamma = 0.07$ [17];
- метод ломаных [9];
- одношаговый байесовский алгоритм (ОБА) [12].

Точность поиска была установлена, как и ранее, в 0.001. Всего в эксперименте проводилась минимизация 20 функций из тестового набора задач, сформированного в [11] (для метода ломаных в качестве величины параметра использовалась точная нижняя грань значения константы Липшица для каждой из задач набора).

Количество итераций (вычислений значений минимизируемой функции), выполненных при решении указанных задач, показано на Рис. 28. Результаты, помеченные символом *, соответствуют экспериментам, в которых завершение глобального поиска

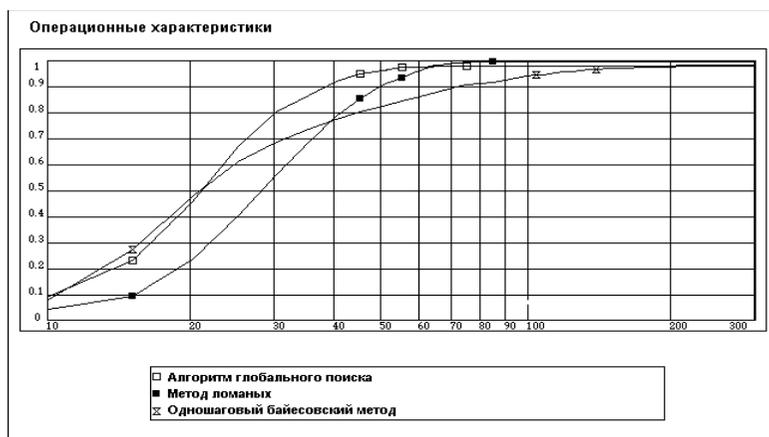


Рис. 30. Операционные характеристики методов после решения 1000 задач оптимизации

происходило из-за выполнения максимально допустимого количества итераций (останов по числу итераций). Результаты экспериментов, полученные для АГП, представлены в виде диаграммы на Рис. 29.

Далее методы, выбранные для рассмотрения в предыдущем эксперименте (за исключением метода Кушнера), были применены для решения 1000 многоэкстремальных задач, сгенерированных при помощи случайного механизма. Операционные характеристики методов, построенные после выполнения таких длительных вычислений, показаны на Рис. 30. Как видно из полученных результатов, можно выделить три стадии глобального поиска. На первой из них (итерации поиска с 1 по 20) методом оптимизации с лучшими показателями по надежности (вероятности нахождения глобального минимума) является одношаговый байесовский метод. Затем в средней части поиска (итерации поиска с 21 по 65) лучшие показатели имеет алгоритм глобального поиска. В завершающей стадии поиска показатели эффективности для метода ломаных и алгоритма глобального поиска являются близкими. Числовые данные по данному эксперименту приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Результаты решения 1000 задач оптимизации

	Методы ¹					
	АГП	МЛ	ОБА	ММ	МЛН	ЛАА
Количество функций	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Среднее к-во итераций	44	57	86	45	29	37
Минимум найден с требуемой точностью						
Количество функций	977	1000	980	982	857	927
Среднее к-во итераций	44	57	87	46	29	37
Требуемая точность не достигнута						
Количество функций	23	0	20	18	143	73
Среднее к-во итераций	35	0	44	34	30	31
Средняя погрешность (по координате)	0.336	0.0	0.334	0.323	0.359	0.339

¹ Используются следующие обозначения методов: АГП - алгоритм глобального поиска (Стронгина), МЛ - метод ломаных (Пиявского), ОБА - одношаговый байесовский алгоритм (Жилинскаса), ММ - монотонный метод, МЛН - метод с локальной настройкой (модификация Сергеева), ЛАА - локально адаптивный алгоритм (модификация Маркина)

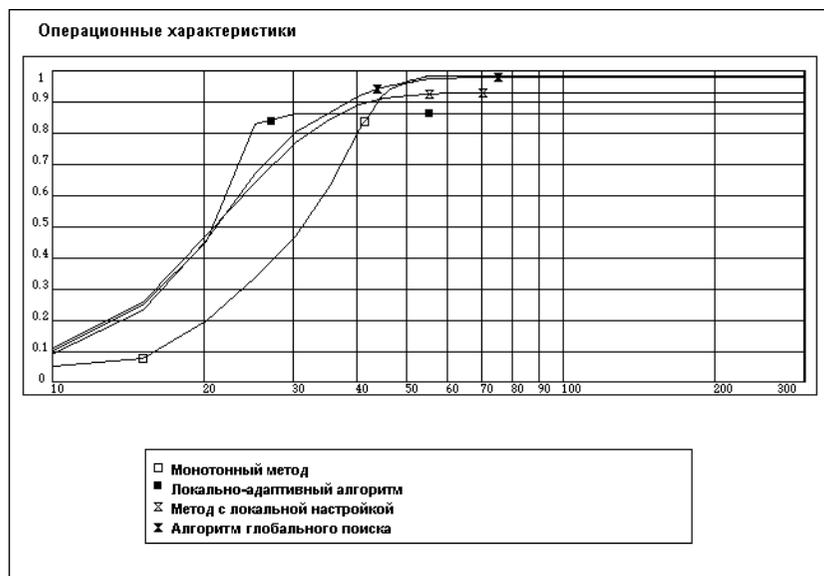


Рис. 31. Операционные характеристики для информационно-статистических алгоритмов глобального поиска

Подобные длительные эксперименты были выполнены и для методов, разработанных в рамках информационно-статистического подхода к глобальной оптимизации [10]. Для решения задач глобального поиска применялись:

- монотонный метод (ММ) [10];
- метод с локальной настройкой [19];
- локально-адаптивный алгоритм [18];
- алгоритм глобального поиска [10].

Параметры методов, как и ранее, были приняты равными $r = 2$. Для локально адаптивного алгоритма формула (6) применялась после выполнения 25 итераций поиска с индексом локальности $q = 3$. Операционные характеристики методов, построенные по результатам решения 1000 задач многоэкстремальной оптимизации, показаны на Рис. 31. Числовые данные по выполненным экспериментам приведены в Таблице 2.

Приложения

П1. Установка системы АБСОЛЮТ

Система АБСОЛЮТ функционирует на IBM совместимых ПЭВМ под управлением операционных систем MS DOS и Windows. Имеется вариант системы для глобальной сети Internet, доступный по адресу

<http://www.unn.runnet.ru/absolut/rus>

Ниже приводятся технические требования и процедуры установки для каждого варианта использования системы.

П1.1. Установка системы для Windows-95

Использование операционной системы Windows-95 является рекомендуемым вариантом применения системы АБСОЛЮТ.

Требования к техническим характеристикам ПЭВМ IBM PC состоят в следующем:

- операционная система Windows-95 (русская версия);
- ПЭВМ IBM PC 80486+;
- оперативная память 8 Кб;
- размер необходимой памяти на жестком постоянном диске для установки системы 5 Мб;
- SVGA графический адаптер.

При планировании использования системы АБСОЛЮТ для проведения длительных экспериментов рекомендуется применять IBM PC 80586 (Pentium) с тактовой частотой не менее 100 МГц и с объемом оперативной памяти в 16 Мб.

Правила установки системы:

- нажать **Пуск** и выбрать команду **Выполнить**;
- набрать в строке **Открыть** команду
X:\install Z:

где **X:** есть имя дисковод, на котором находится установочная дискета (как правило, это дисковод **A:**), **Z:** есть имя устройства, на котором планируется установить систему АБСОЛЮТ.

В результате выполнения процедуры **install** на устройстве **Z:** будет создан каталог **ABSW**, в котором при успешной установке системы должен находиться следующий набор файлов:

- readme - инструкция по установке системы;
- note - замечания по текущей версии;
- absw.exe - исполняемый файл;
- absh.hlp - файл со справочной информацией;
- abshelp.hlp - файл со справочной информацией;
- absw.ico - файл с пиктограммой системы;
- user.doc - файл с описанием системы (в формате редактора Word).

В каталоге **ABSW** содержится также каталог **ARCH**, который используется для хранения записываемых из системы АБСОЛЮТ данных. В момент установки в каталоге **ARCH** находятся файлы **agp2.opt** и **start.ops**, являющиеся контрольными примерами для проверки работоспособности системы, и каталог **COLOR** для хранения файлов с цветовыми палитрами системы АБСОЛЮТ.

Для запуска системы рекомендуется создание папки с пиктограммой системы.

Правила установки пиктограммы системы:

– для *создания папки* установите указатель мыши на любую свободную точку экрана и нажмите правую кнопку мыши; далее выберите команду **Создать** и в появившемся меню выполните команду **Папка**. Для созданной папки задайте имя (рекомендуемое наименование папки - **Оптимизация**);

– при *создания ярлыка* для запуска системы раскройте папку (двойным нажатием левой кнопки мыши), установите указатель мыши на любую свободную точку в папке и нажмите правую кнопку мыши; далее выберите команду **Создать** и в появившемся меню выполните команду **Ярлык**. Затем в диалоговом окне **Создание ярлыка** в командной строке задайте текст **Z:\absw\absw** и нажмите кнопку

Далее, после чего в строке с наименованием **Укажите название ярлыка** введите название (рекомендуемое название - **Абсолют**);

– для *задания пиктограммы* созданного ярлыка установите указатель мыши на значок ярлыка и нажмите правую кнопку мыши; далее выберите команду **Свойства** и в появившемся диалоговом окне выберите вкладку **Ярлык**. Далее нажмите кнопку **Сменить значок** и подтвердите необходимость смены значка нажатием кнопки **ОК**. Затем в строке с наименованием **Имя файла** введите **Z:\abs\absw.ico** и последовательно трижды нажмите на появляющиеся кнопки **ОК**.

Создание папки и ярлыка системы не является обязательным - файл **absw.exe** может быть запущен на выполнение и при помощи команды **Выполнить** системы Windows.

Для выполнения примера, имеющегося в комплекте поставки системы:

- выберите пункт меню **Начало** и выполните команду **Загрузить пакет заданий**;
- выберите строку **start.ops** в списке имен файлов и нажмите кнопку **Открыть**;
- выберите пункт меню **Эксперимент** и выполните команду **Показать все**;
- выберите пункт меню **Поиск** и выполните команду **Во всех окнах**;

В результате выполненных действий на экране дисплея должно быть представлено 4 окна для выполнения вычислительных экспериментов. В этих окнах в режиме разделения времени демонстрируется решение задачи многоэкстремальной оптимизации одновременно несколькими методами. При появлении окна с сообщением "**Выполнено условие остановки**" нажмите кнопку **ОК**; для завершения работы системы выберите пункт меню **Архив** и выполните команду **Завершить**.

П1.2. Установка системы для Windows-3.1

Установка системы АБСОЛЮТ для использования под управлением операционной среды Windows-3.1 может быть выполнена в соответствии с требованиями и правилами установки, приведенными

для системы Windows-95. Команда **Выполнить** в Windows-3.1 располагается в пункте меню **Файл** программы **Диспетчер программ**. Правила создания программных групп и программных элементов могут быть получены в справочной системе операционной среды Windows-3.1.

П1.3. Установка системы для MS DOS

Вариант системы для операционной системы MS DOS реализован в 1991-1995 гг. и обеспечивает сокращенный набор рассмотренных в пособии возможностей для изучения и анализа методов глобальной оптимизации. Описание данной версии системы приведено в [23, 27-28].

Требования к техническим характеристикам ПЭВМ IBM PC состоят в следующем:

- операционная система MS DOS 3.30+;
- ПЭВМ IBM PC 80386/87+;
- оперативная память 512 Кб;
- размер необходимой памяти на жестком постоянном диске для установки системы 1 Мб;
- EGA, VGA, SVGA графический адаптер;
- желательно наличие арифметического сопроцессора.



Правила установки системы:

- создать на жестком постоянном диске каталог ABSOLUT;
- скопировать в каталог файлы с установочной дискеты.

П2. Общее описание команд системы АБСОЛЮТ

В зависимости от действий, выполняемых пользователем, система АБСОЛЮТ может находиться в следующих режимах функционирования:

- Начало работы
- Основной режим работы
- Режим глобального поиска
- Пошаговый режим глобального поиска
- Режим поиска с указываемыми моментами останова
- Режим выполнения серии экспериментов
- Режим ручного поиска
- Режим управления лупой

Схема переходов между указанными режимами представлена на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Обозначенные стрелками переходы между режимами помечены наименованиями команд (выделены курсивом), применение которых приводит к выполнению данных переходов. Следует обратить внимание, что команды **В активном окне**, **Во всех окнах**, **Продолжить** могут приводить к переходу в разные режимы глобального поиска (режимы 3, 4, 5); задание желаемого режима производится при помощи команды **Темп показа** пункта **Поиск** основного меню системы. Завершение работы с системой происходит при выполнении команды **Завершить** начального и основного меню.

Ниже следует общее описание наборов (*меню*) команд для каждого режима работы системы; названия команд, вызывающих переходы между режимами работы, выделены подчеркиванием.

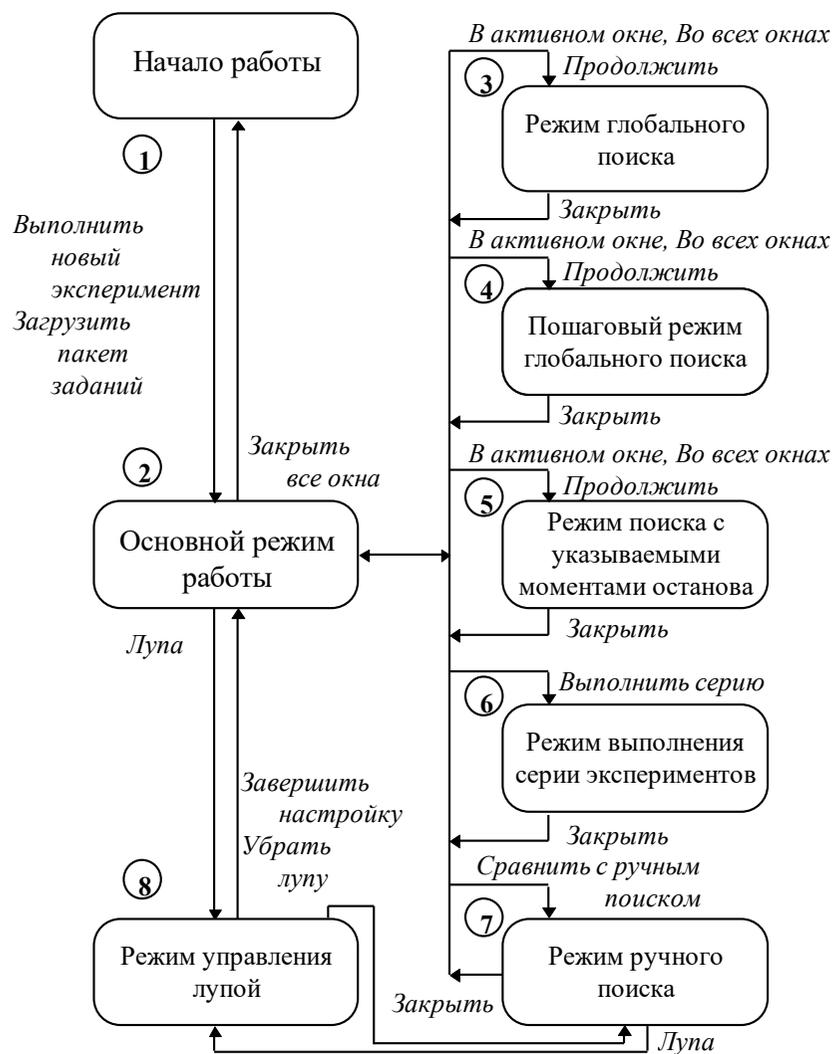


Рис. 32. Схема переходов между режимами работы системы АБСОЛЮТ

Начальное меню системы

Начало

- Выполнить новый эксперимент
Переход к основному меню. При выполнении команды запрашивается название создаваемого окна
- Загрузить Пакет заданий
Чтение из архива системы запомненного ранее набора (пакета) заданий по численному решению задач глобального поиска. Переход к основному меню.
- Завершить
Завершение работы системы АБСОЛЮТ

Справка

- Содержание
Получение списка разделов справочной информации, имеющейся в системе.
- Использование Справки
Получение правил использования справочной информации.
- О программе
Получение общей информации о системе.

Основное меню

Архив

- Пункт меню содержит команды работы с архивом, печати и завершения.
- Загрузить
Пункт меню содержит команды чтения данных из архива системы.
 - Задачу
Чтение из архива ранее запомненной постановки задачи многоэкстремальной оптимизации. Получаемая постановка заменяет задачу оптимизации в активном окне.
 - Задание
Чтение из архива ранее запомненных параметров оптимизационного эксперимента (задача, метод поиска)

и его параметры и др.). Получаемые данные заменяют параметры активного окна.

- *Сохранить*
Пункт меню содержит команды записи данных в архив системы.
 - *Задачу*
Запись в архив постановки задачи оптимизации активного окна.
 - *Задание*
Запись в архив параметров оптимизационного эксперимента (задача, метод поиска и его параметры и др.) активного окна.
 - *Все задания*
Запись в архив параметров оптимизационных экспериментов (задачи, методы поиска и их параметры и др.) всех имеющихся окон.
- *Печать*
Пункт меню содержит команды печати графического представления окон с результатами выполненных экспериментов.
 - *В Активном окне*
Печать графического представления активного окна.
 - *Во Всех окнах*
Печать графического представления всех имеющихся окон.
- *Параметры страницы*
Задание параметров (поля, размер, режим печати заголовка и названия) страницы печати.
- *Настройка печати*
Настройка параметров печати (тип принтера, размер бумаги и т.п.).
- *Копировать в Буфер Обмена*
Копирование графического изображения активного окна в буфер обмена системы Windows.
- *Завершить*
Завершение работы системы АБСОЛЮТ.

Задача

Пункт меню содержит команды для постановки и копирования между окнами задач оптимизации.

- *Стандартный набор*
Выбор задачи оптимизации из стандартного набора постановок.
- *Формульное задание*
Задание задачи оптимизации при помощи формульного выражения.
- *Случайный датчик*
Генерация задачи оптимизации при помощи случайного механизма.
- *Графическое редактирование*
Редактирование выбранной задачи оптимизации при помощи графического редактора.
- *Запомнить как образец*
Запоминание задачи оптимизации активного окна как образца для копирования в другие окна.
- *Взять образец*
Взятие ранее установленного образца в качестве задачи оптимизации активного окна.
- *Копировать во все окна*
Копирование задачи оптимизации активного окна во все имеющиеся окна экспериментов.

Метод

Пункт меню содержит команды для выбора метода оптимизации и задания параметров.

- *Стандартный Метод*
Выбор метода оптимизации из числа реализованных в системе алгоритмов глобального поиска.
- *Новый Метод*
Задание нового метода оптимизации при помощи его формульного описания.
- *Параметры*
Задание параметров выбранного метода глобального поиска.

Графика

Пункт меню содержит команды для задания графических форм наблюдения за процессом глобального поиска.

- Функция
Пункт меню содержит команды для задания способа построения графика минимизируемой функции.
 - *по точкам равномерной сетки*
Построение графика функции (до начала оптимизации) по точкам равномерной сетки в области поиска.
 - *по точкам выполненных итераций*
Построение графика функции в виде ее линейной аппроксимации по точкам выполненных итераций поиска (тем самым, до начала поиска график функции отсутствует).
- Датчики
Задание графических форм наблюдения за процессом решения задачи многоэкстремальной оптимизации.
- Лупа
Переход к меню управления лупой для настройки механизма высветки части области поиска в более крупном масштабе изображения.

Поиск

Пункт меню содержит команды для выполнения экспериментов по численному решению задач многоэкстремальной оптимизации.

- В Активном окне
Решение задачи оптимизации в активном окне. Переход к режимам работы 3, 4, 5 в зависимости от установленных параметров команды Темп показа.
- Во Всех окнах
Решение одновременного решения задач оптимизации во всех имеющихся окнах в режиме разделения времени. Переход к режимам работы 3, 4, 5 (см. Рис. 32) происходит в зависимости от установленных параметров команды Темп показа.
- Продолжить
Продолжение ранее приостановленного процесса глобального поиска. Продолжение вычислений

возможно только, если с момента приостановки выбранные задача оптимизации и метод поиска не изменялись (при невозможности продолжения поиска название команды высвечивается серым цветом).

- Темп показа
Регулирование темпа демонстрации результатов выполняемых итераций поиска. Задание пошагового режима поиска и режима поиска с задаваемыми моментами останова.
- Выполнить серию
Переход к режиму выполнения серии экспериментов.
- Сравнить с ручным поиском
Переход к режиму ручного поиска.

Эксперимент

Пункт меню содержит команды для создания и управления окнами в рабочей области системы АБСОЛЮТ.

- Создать новый
Создание нового окна в рабочей области системы АБСОЛЮТ для проведения экспериментов по численному решению задач оптимизации.
- Расположить стопкой
Расположение окон в порядке, при котором они перекрываются (активное окно занимает большую часть рабочей области), но сохраняется видимость строк заголовков всех окон.
- Показать все
Распределение поверхности рабочей области системы АБСОЛЮТ поровну между всеми имеющимися окнами.
- Упорядочить Пиктограммы
Упорядочение порядка расположения пиктограмм всех минимизированных (свернутых до пиктограмм) окон рабочей области системы.
- Закрыть Все
Закрытие всех окон рабочей области системы АБСОЛЮТ. Переход к начальному меню.

Результат

- Пункт меню содержит команды для просмотра и анализа результатов выполненных экспериментов.
- *Итоги*
 - Пункт меню содержит команды для просмотра и анализа общих результатов выполненных экспериментов.
- *Показать*
 - Получение общих результатов выполненных экспериментов (количество решенных ранее задач, среднее количество выполненных итераций поиска и др.).
- *Обнулить*
 - Удаление ранее накопленных результатов решения задач оптимизации (применение команды целесообразно, например, при смене цели проведения экспериментов и т.п.).
- *Операционные характеристики*
 - Получение сформированных по результатам выполненных экспериментов операционных характеристик методов глобального поиска.
- *Журнал экспериментов*
 - Пункт меню содержит команды для записи, просмотра и анализа результатов в журнале экспериментов. В журнале запоминаются решаемая задача и использованный метод поиска, полученная оценка глобального минимума, количество выполненных итераций и др.
- *Записать*
 - Запись результатов последнего выполненного глобального поиска в журнал экспериментов. В журнале сохраняются результаты только 20 последних экспериментов.
- *Обнулить*
 - Удаление всех записанных в журнале экспериментов результатов.
- *Автозапись*
 - Включение режима автоматической записи в журнал экспериментов результатов решения оптимизационных

задач. Отмена режима происходит при повторном выполнении команды.

- *Применять во всех окнах*
 - Включение режима применения команд Записать, Обнулить и Автозапись для всех имеющихся окон. Отмена режима происходит при повторном выполнении команды.
- *Показать*
 - Получение для просмотра результатов, запомненных в журнале экспериментов. Содержимое журнала представляется в виде таблицы.
- *Диаграмма*
 - Получение для просмотра результатов, запомненных в журнале экспериментов. Содержимое журнала представляется в виде диаграммы.
- *Сравнить*
 - Получение в виде сводной таблицы результатов решения оптимизационных задач, запомненных в журналах экспериментов всех имеющихся окон.
- *Сравнить и Диаграмма*
 - Получение в виде сводной диаграммы результатов решения оптимизационных задач, запомненных в журналах экспериментов всех имеющихся окон.

Настройка

Пункт меню содержит команды для настройки параметров системы (выбор русского или английского варианта, изменение палитры цветов и т.п.).

- *Английский*
 - Выбор английского варианта системы.
- *Цвет*
 - Пункт меню содержит команды для изменения, записи и загрузки цветов.
- *Изменить*
 - Изменение палитры цветов, используемой системой.
- *Черно-белая палитра*
 - Переход к палитре цветов, содержащей только черный и белый цвета.

- *Сохранить*
Сохранение используемой палитры цветов в архиве системы.
- *Загрузить*
Чтение ранее запомненной палитры цветов.

Справка

Пункт меню содержит команды для получения справочной информации о системе АБСОЛЮТ.

- *Содержание*
Получение списка разделов справочной информации, имеющейся в системе.
- *Использование Справки*
Получение правил использования справочной информации.
- *О программе*
Получение общей информации о системе.

Меню выполнения поиска

Остановить

Приостановка процесса глобального поиска. Переход к основному режиму работы.

Меню пошагового поиска

Шаг

Выполнение одной итерации поиска.

Без останова

Выполнение глобального поиска без останова до выполнения условия остановки.

Закреть

Завершение поиска и переход к основному режиму работы.

Справка

Получение справочной информации по режиму пошагового поиска.

Меню поиска с указываемыми моментами останова

Пуск

Выполнение очередной последовательности итераций глобального поиска. Количество итераций до приостановки задается в диалоговом окне команды Темп показа.

Без останова

Выполнение глобального поиска без останова до выполнения условия остановки.

Закреть

Завершение поиска и переход к основному режиму работы.

Справка

Получение справочной информации по режиму поиска с указываемыми моментами останова.

Меню выполнения серии экспериментов

Пуск

Переход к решению последовательности задач минимизации. Формирование набора задач при выполнении серии осуществляется при помощи случайного датчика.

Операционные характеристики

Пункт меню содержит команды для управления формой визуализации графика операционных характеристик.

- *Показать в конце*
Демонстрация графика операционных характеристик по окончании выбранной серии экспериментов.
- *Показать отдельно*
Демонстрация графика операционных характеристик в процессе выполнения серии в окнах экспериментов по отдельности.
- *Показать совместно*
Демонстрация графика операционных характеристик в процессе выполнения серии экспериментов на сводном (объединенном) графике.

Закреть

Завершение поиска и переход к основному режиму работы.

Справка

Получение справочной информации по режиму выполнения серии экспериментов.

Меню ручного поиска

Архив

Пункт меню содержит команды работы с архивом, печати и завершения.

- *Сохранить*
Запись в архиве параметров оптимизационных экспериментов (задачи, методы поиска и их параметры и др.) всех имеющихся окон.
- *Печать*
Пункт меню содержит команды печати графического представления окон с результатами выполненных экспериментов.
 - *В Активном окне*
Печать графического представления активного окна.
 - *Во Всех окнах*
Печать графического представления всех имеющихся окон.
- *Параметры страницы*
Задание параметров (поля, размер, режим печати заголовка и названия) страницы печати.
- *Настройка печати*
Настройка параметров печати (тип принтера, размер бумаги и т.п.).
- *Копировать в Буфер Обмена*
Копирование графического изображения активного окна в буфер обмена системы Windows.
- *Закреть Ручной Поиск*
Завершение режима ручного поиска и переход к основному меню системы АБСОЛЮТ.

Задача

Пункт меню содержит команду для перехода к выполнению следующего эксперимента в режиме ручного поиска

- *Перейти к следующей*
Переход к следующей задаче оптимизации для проведения нового эксперимента по ручному поиску.

Графика

Пункт меню содержит команды для задания графических форм наблюдения за процессом глобального поиска.

- *Датчики*
Задание графических форм наблюдения за процессом решения задачи многоэкстремальной оптимизации.
- *Лупа*
Переход к меню управления лупой для настройки механизма подсветки части области поиска в более крупном масштабе изображения.

Поиск

Пункт меню содержит команды сравнения результатов ручного поиска и задания темпа демонстрации итераций поиска.

- *Сравнить*
Запуск автоматических методов для решения текущей задачи оптимизации в целях сравнения эффективности этих методов и эффективности ручного поиска.
- *Темп показа*
Регулирование темпа демонстрации результатов выполняемых итераций поиска. Задание пошагового режима поиска и режима поиска с задаваемыми моментами останова.

Эксперимент

Пункт меню содержит команды для управления окнами в рабочей области системы АБСОЛЮТ.

- *Расположить стопкой*
Расположение окон в порядке, при котором они перекрываются (активное окно занимает большую часть рабочей области), но сохраняется видимость строк заголовков всех окон.
- *Показать Все*
Распределение поверхности рабочей области системы АБСОЛЮТ поровну между всеми имеющимися окнами.

Результат

Пункт меню содержит команды для просмотра и анализа результатов выполненных экспериментов.

- *Показать Итоги*
Получение общих результатов выполненных экспериментов (количество решенных ранее задач,

среднее количество выполненных итераций поиска и др.).

- *Операционные характеристики*
Получение сформированных по результатам выполненных экспериментов операционных характеристик методов глобального поиска.
- *Журнал экспериментов*
Пункт меню содержит команды для записи, просмотра и анализа результатов в журнале экспериментов. В журнале запоминаются решаемая задача и использованный метод поиска, полученная оценка глобального минимума, количество выполненных итераций и др.
 - *Записать*
Запись результатов последнего выполненного глобального поиска в журнал экспериментов. В журнале сохраняются результаты только 20 последних экспериментов.
 - *Обнулить*
Удаление всех записанных в журнале экспериментов результатов.
 - *Автозапись*
Включение режима автоматической записи в журнал экспериментов результатов решения оптимизационных задач. Отмена режима происходит при повторном выполнении команды.
 - *Применять во всех окнах*
Включение режима применения команд Записать, Обнулить и Автозапись для всех имеющихся окон. Отмена режима происходит при повторном выполнении команды.
 - *Показать*
Получение для просмотра результатов, запомненных в журнале экспериментов. Содержимое журнала представляется в виде таблицы.

- *Диаграмма*
Получение для просмотра результатов, запомненных в журнале экспериментов. Содержимое журнала представляется в виде диаграммы.
- *Сравнить*
Получение в виде сводной таблицы результатов решения оптимизационных задач, запомненных в журналах экспериментов всех имеющихся окон.
- *Сравнить и Диаграмма*
Получение в виде сводной диаграммы результатов решения оптимизационных задач, запомненных в журналах экспериментов всех имеющихся окон.

Справка

Получение справочной информации по ручному режиму поиска

- *Лупы*
Перемещение клавиатурного курсора сдвига на лупу.
- *Визира*
Перемещение клавиатурного курсора сдвига на визир.

Положение

Пункт меню содержит команды для перемещения лупы на лучшую точку или на точку расположения визира.

- *на Лучшей Точке*
Перемещение лупы на лучшую точку.
- *Установка по Визиру*
Перемещение лупы на точку расположения визира.

Справка

Получение справочной информации по использованию лупы при визуализации результатов выполняемых итераций глобального поиска.

Меню управления лупой

Масштаб

Пункт меню содержит команды для изменения масштаба или отмены лупы.

- *Увеличить*
Увеличение масштаба лупы. Возможные значения кратности - 5, 25, 125.
- *Уменьшить*
Уменьшение масштаба лупы. Возможные значения кратности - 5, 25, 125.
- *Завершить Настройку*
Завершение режима настройки лупы и переход к выполнению команд основного меню системы.
- *Убрать Лупу*
Отмена использования лупы и переход к выполнению команд основного меню системы.

Сдвиг

Пункт меню содержит команды для указания объекта перемещения (лупа/визир) при выполнении сдвига под управлением клавиатуры.

Литература

1. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. М.: Наука, 1979.
2. Самарский А.А., Попов Ю.П. Вычислительный эксперимент. М.: Знание, 1983.
3. Павловский Ю.Н. Имитационные системы и модели. М.: Знание, 1990.
4. Стронгин Р.Г. Программные средства для образовательных целей, основанные на имитации объектов изучения (принципы создания) // Математическое моделирование в образовании: Межвуз. тематич. сб. научн. тр. / Под редакцией Р.Г. Стронгина. Н.Новгород: изд. ННГУ, 1993. С. 5-15.
5. Wolfram, S. Mathematica: A System for Doing Mathematics by Computer, Addison Wesley, Reading, MA, 1992.
6. Pinter, J. Global Optimization in Action, Kluwer, Dordrecht, 1996.
7. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Система многоэкстремальной оптимизации // Алгоритмы и алгоритмические языки. Пакеты прикладных программ. Программное обеспечение оптимизационных задач. М.: Наука, 1987. С. 39-50.
8. Horst, R., Pardalos, P.M. Handbook of Global Optimization. Kluwer, Dordrecht, 1995.
9. Пиявский С. А. Один алгоритм отыскания абсолютного экстремума функции // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1972. Т. 12. № 4. С. 888-897.
10. Стронгин Р.Г. Численные методы в многоэкстремальных задачах. М.: Наука, 1978.
11. Hansen, P., Jaumard, B. and Lu, S.-H. Global Optimization of Univariate Lipschitz Functions: 2. New Algorithms and Computational Comparison, Math. Programming, 1992, v. 55, 273-292.
12. Жилинскас А. Глобальная оптимизация. Аксиоматика статистических моделей, алгоритмы, применение. Вильнюс: Мокслас, 1988.
13. Хилл Дж. Д., Гибсон Дж. И. Способ автоматической оптимизации многоэкстремальных оптимизаций // Теория самонастраивающихся систем управления. М.: Наука, 1969.
14. Форсайт Д., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. - М.: Мир, 1980.
15. Гришагин В.А. Об условиях сходимости одного класса алгоритмов глобального поиска // Численные методы нелинейного программирования. Харьков: ХГУ, 1979. С. 82-84.
16. Horst, R. and Tuy, H. Global Optimization - Deterministic Approaches, Springer, Berlin 1990 (2nd edn., 1993).
17. Kushner, H. A New Method of Locating the Maximum Point of an Arbitrary Multipeak Curve in the Presence of Noise, Trans. ASME, ser. D, 1964, v. 86, 97-105.
18. Стронгин Р.Г. Поиск глобального минимума. М.: Знание, 1990.
19. Sergeyev, Ya.D. An Information Global Optimization Algorithm with Local Tuning // SIAM Journal of Optimization, 1995, v. f 5, 1-17.
20. Сухарев А.Г., Тимонов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации - М: Наука, 1986.
21. Растринин Л.А. Статистические методы поиска. М.: Наука, 1968.
22. Жиглявский А.А. Математическая теория глобального случайного поиска. - Л: издательство ЛГУ, 1985.
23. Стронгин Р.Г., Гергель В.П., Тропичев А.В. Учебно-исследовательская система по численным методам многоэкстремальной оптимизации // Математическое моделирование в образовании: Межвуз. тематич. сб. научн. тр. / Под редакцией Р.Г. Стронгина. Н.Новгород: изд. ННГУ, 1993. С. 19-42.
24. Strongin, R.G. Software for Distant Education Based on Simulation of Objects of Study, Proceeding of the International Conference on Distant Education in Russia, 1994, 257-258.
25. Gergel, V.P., Strongin, R.G. Software System for Research and Training in Global Optimization Techniques, Proceeding of the Second International Conference on Distant Education in Russia: Open and Distance Learning as a Development Strategy, 1996, 511-512.
26. Strongin, R.G., Gergel, V.P., Tropichev, A.V. GLOBALIZER. Research and Training Laboratory Works. Investigation of Minimizing Sequences Generated by Global Search Algorithms for Univariate Functions, Nizhni Novgorod State University, Nizhni Novgorod, 1995.

27.00006 - 01 31 01. Учебно-исследовательская система по методам многоэкстремальной оптимизации (система АБСОЛЮТ). Описание применения. Нижний Новгород, 1991.

28.00006 - 01 31 01. Учебно-исследовательская система по методам многоэкстремальной оптимизации (система АБСОЛЮТ). Руководство пользователя. Нижний Новгород, 1991.

Предметный указатель

А

АБСОЛЮТ *См.* Система АБСОЛЮТ
Алгоритмы глобального поиска *См.* Методы многоэкстремальной оптимизации

Г

Графические формы 10, 30
график минимизируемой функции 31
диаграммы плотности точек итераций 33
диаграммы распределения точек итераций 32
диаграммы траекторий глобального поиска 32
информационное табло 34
увеличительное стекло 35

Ж

Журнал экспериментов 42
использование *См.* Правила использования системы

З

Задача многоэкстремальной оптимизации
понятие решения 13
постановка 13
способы задания 14
графическое редактирование 14, 18
случайный датчик 14, 18
стандартный набор 15
формульное задание 16

И

Испытание 21

М

- Методы многоэкстремальной оптимизации
 - конструирование нового метода 25, 27
 - набор методов, реализованных в системе
 - алгоритм глобального поиска (Стронгина) 23, 80
 - алгоритм случайного поиска (Монте-Карло) 23, 75
 - информационно-статистический алгоритм с локальной настройкой 84
 - локально-адаптивный алгоритм глобального поиска 82
 - метод Кушнера 23, 79
 - метод ломаных (Пиявского) 23, 76
 - метод полного перебора 23, 74
 - монотонный алгоритм глобального поиска 82
 - одношаговый байесовский алгоритм (Жилинскаса) 24, 77
 - смешанный алгоритм глобального поиска 83
 - общая схема 20
 - оценка эффективности 10
 - параметры методов
 - количество итераций 86
 - коэффициент надежности 87
 - оценка константы Липшица 86
 - параметр метода Кушнера 86
 - смесь 87
 - степень локальности 87
 - точность поиска 86
 - шаг включения локальной адаптации 87
 - шаг включения локальной смеси 87
 - правила
 - оценка глобального минимума 7, 22
 - решающие правила 7
 - условие остановки 7, 21
 - схема характеристической представимости 20-22
- Минимизирующие последовательности 7-10

О

- Окно для проведения эксперимента 50
 - активное 50
- Операционные характеристики 10, 41

П

- Правила использования системы
 - выбор графических форм
 - выбор датчиков 36
 - график функции 35
 - темп показа 37
 - управление лупой 36
 - выполнение серии экспериментов
 - завершить 60
 - начать серию 60
 - показать операционные характеристики 59
 - завершение 19
 - задание метода
 - выбор метода 25
 - задание нового метода 27
 - задание параметров 26
 - запоминание данных в архиве 66
 - запуск 15
 - использование журнала экспериментов
 - демонстрация 44
 - запись результатов оптимизации 44
 - построение диаграммы 45
 - применение команд во всех окнах 56
 - режим автозаписи 45
 - сравнение диаграмм 55
 - сравнение журналов 53
 - удаление данных 45
 - копирование результатов
 - всех журналов экспериментов 71
 - журнала экспериментов 71
 - окна системы АБСОЛЮТ 71
 - печать
 - всех журналов экспериментов 68
 - журнала экспериментов 68
 - настройка параметров печати 69
 - общих результатов 68
 - окон экспериментов 69
 - операционных характеристик 68

Правила использования системы (*продолжение*)

- поиск глобального минимума
 - в активном окне 26, 48
 - во всех окнах 52
 - выполнение серии 58
 - пошаговый режим 48
 - приостановка 48
 - продолжение 48
 - сравнить с ручным поиском 62
 - указание моментов останова 49
 - получение общих результатов
 - показать 39
 - удалить 40
 - получение операционных характеристик
 - показать 42
 - удалить 42
 - постановка задачи
 - графическое редактирование 18
 - копирование задачи между окнами 52
 - случайный датчик 18
 - стандартный набор 15
 - формульное задание 16
 - ручной поиск
 - выполнить итерации 63
 - завершить 65
 - перейти к следующему эксперименту 65
 - сравнить с методами оптимизации 64
 - управление окнами
 - изменение размеров окон 52
 - создание нового окна 52
 - управление темпом демонстрации 37
 - чтение данных из архива 67
- Продолжение поиска 48

Р

- Результаты экспериментов
 - демонстрация в информационном табло 34
 - запоминание в архиве 66
 - запоминание в журнале экспериментов 44
 - наблюдение в процессе поиска 10, 30
- Результаты экспериментов (*продолжение*)

- общие 39
- операционные характеристики 10, 41
- перенос в другие программы 70
- печать 68

С

- Система АБСОЛЮТ
 - Internet версия 12
 - апробация 12
 - возможности 5
 - использование в учебном процессе 88
 - использование при исследовании методов оптимизации 98
 - назначение 3
 - области применения 3
 - план проведения учебных занятий 91
 - принципы построения 3, 6-11

У

- Условие Липшица 13
 - оценка константы Липшица 25

Х

- Характеристика интервала 21

Э

- Эксперимент, вычислительный 47
 - выполнение серии экспериментов 57
 - одновременное выполнение нескольких экспериментов 50
 - последовательное выполнение 47
 - режимы
 - поиск без останова до выполнения условия остановки 48
 - пошаговый 48
 - с указываемыми моментами останова 49
 - ручной поиск 61

Список иллюстраций

Рис. 1. Основные понятия и положения, отраженные в сценариях работы системы АБСОЛЮТ	9
Рис. 2. Примеры случайно генерируемых функций.....	15
Рис. 3. Диалоговое окно для выбора функции из стандартного набора	16
Рис. 4. Диалоговое окно для формульного задания функции	17
Рис. 5. Диалоговое окно редактирования функции	18
Рис. 6. Диалоговое окно для выбора метода оптимизации	26
Рис. 7. Диалоговое окно для задания параметров	27
Рис. 8. Диалоговое окно для конструирования нового метода	28
Рис. 9. Вид окна оптимизации	31
Рис. 10. Графические формы наблюдения за процессом поиска	33
Рис. 11. Диалоговое окно для выбора желаемых форм наблюдения за процессом поиска	36
Рис. 12. Диалоговое окно для задания темпа показа	38
Рис. 13. Сведения о выполненных экспериментах	40
Рис. 14. Окно с табличной формой представления данных из журнала экспериментов	43
Рис. 15. Окно с исходными данными эксперимента	44
Рис. 16. Окно для показа данных из журнала экспериментов в виде диаграммы.....	46
Рис. 17. Пример демонстрации нескольких окон оптимизации	51
Рис. 18. Таблица сравнения нескольких журналов экспериментов	54
Рис. 19. Диаграмма сравнения нескольких журналов экспериментов..	56
Рис. 20. Диалоговое окно для задания параметров серии экспериментов	58
Рис. 21. Вид окна ручного поиска перед началом эксперимента	62
Рис. 22. Вид окна ручного поиска после выполнения нескольких итераций	63
Рис. 23. Сравнение ручного поиска с методами оптимизации	64
Рис. 24. Диалоговое окно для задания параметров страницы печати ..	69
Рис. 25. Диалоговое окно для задания заголовка и наименования страницы печати	70
Рис. 26. Решение задачи оптимизации при помощи монотонного метода и локально-адаптивного алгоритма.....	99

Рис. 27. Операционные характеристики АГП при разных значениях параметра надежности	100
Рис. 28. Результаты оптимизации 20 многоэкстремальных задач	101
Рис. 29. Результаты оптимизации 20 многоэкстремальных задач при помощи АГП.....	102
Рис. 30. Операционные характеристики методов после решения 1000 задач оптимизации	103
Рис. 31. Операционные характеристики для информационно-статистических алгоритмов глобального поиска.....	105
Рис. 32. Схема переходов между режимами работы системы АБСОЛЮТ	111

Таблица 1. Численные результаты глобального поиска для АГП с разными значениями параметра надежности	101
--	-----

Таблица 2. Результаты решения 1000 задач оптимизации.....	104
---	-----

Содержание

Введение.....	3
ЧАСТЬ 1. Осваиваем основы	5
1. Общая характеристика системы АБСОЛЮТ	5
2. Постановка задач многоэкстремальной оптимизации	13
Правила использования системы.....	15
1. Запуск системы.....	15
2. Стандартный набор	15
3. Формульное задание	16
4. Случайный датчик.....	18
5. Графическое редактирование.....	18
6. Завершение работы системы.....	19
Задания и упражнения	19
3. Выбор метода многоэкстремальной оптимизации	20
3.1. Общая схема метода оптимизации	20
3.2. Схема характеристической представимости	20
3.3. Алгоритмическое наполнение системы	22
3.4. Включение в состав системы нового метода.....	25
Правила использования системы.....	25
1. Выбор метода.....	25
2. Оптимизация.....	26
3. Задание параметров.....	26
4. Задание нового метода.....	27
Задания и упражнения	28
4. Определение графических форм наблюдения за процессом поиска	30
4.1. График минимизируемой функции	31
4.2. Диаграммы распределения точек итераций.....	32
4.3. Диаграммы траекторий глобального поиска	32
4.4. Диаграммы плотности точек испытаний	33
4.5. Информационное табло	34
4.6. Увеличительное стекло.....	35
Правила использования системы.....	35
1. График функции	35
2. Выбор датчиков	36
3. Управление лупой	36
4. Темп показа.....	37
Задания и упражнения	38
5. Анализ результатов глобального поиска	39
5.1. Общие результаты экспериментов	39
Правила использования системы.....	39
1. Общие результаты.....	39
2. Удаление результатов	40
Задания и упражнения	40
5.2. Операционные характеристики	41
Правила использования системы.....	42
1. Показ операционных характеристик.....	42
2. Удаление результатов	42
Задания и упражнения	42
5.3. Журнал экспериментов	42
Правила использования системы.....	44
1. Записать в журнал	44
2. Демонстрация журнала.....	44
3. Диаграмма	45
4. Удаление данных.....	45
5. Режим Автозаписи	45
Задания и упражнения	46
6. Выполнение вычислительных экспериментов с методами	
глобального поиска	47
6.1. Последовательное выполнение экспериментов	47
Правила использования системы.....	48
1. Оптимизация.....	48
2. Приостановка поиска	48
3. Продолжение поиска.....	48
4. Пошаговый режим.....	48
5. Указание моментов останова	49
Задания и упражнения	49
6.2. Выполнение нескольких экспериментов	50
Правила использования системы.....	52
1. Создание окна.....	52
2. Управление окнами.....	52
3. Поиск во всех окнах	52
4. Копирование задачи	52
5. Сравнение журналов	53

6. Сравнение диаграмм	55
7. Применение команд во всех окнах	56
Задания и упражнения	57
6.3. Выполнение серии экспериментов	57
Правила использования системы.....	58
1. Выполнить серию	58
2. Операционные характеристики	59
3. Пуск	60
4. Закрыть	60
Задания и упражнения	60
6.4. Ручной поиск глобального минимума.....	61
Правила использования системы.....	62
1. Открытие окон	62
2. Установка ручного поиска	62
3. Выполнение итераций	63
4. Завершение поиска.....	64
5. Следующий эксперимент	65
6. Завершение режима ручного поиска	65
Задания и упражнения	65
7. Использование результатов экспериментов: запоминание, печать и перенос в другие программы	66
7.1. Запоминание результатов	66
Правила использования системы.....	66
1. Запись данных	66
2. Чтение данных	67
Задания и упражнения	67
7.2. Печать результатов оптимизации	68
Правила использования системы.....	68
1. Печать общих результатов	68
2. Печать операционных характеристик	68
3. Печать журнала экспериментов.....	68
4. Печать всех журналов экспериментов	68
5. Печать окон экспериментов	69
Задания и упражнения	70
7.3. Копирование результатов в другие программы	70
Правила использования системы.....	71
1. Копирование результатов журнала экспериментов	71
2. Копирование результатов всех журналов экспериментов	71

3. Копирование окна системы.....	71
Задания и упражнения	71
ЧАСТЬ 2. Изучаем алгоритмы глобального поиска.....	73
8. Общее описание методов многоэкстремальной оптимизации	73
8.1. Метод полного перебора	74
8.2. Метод случайного поиска.....	75
8.3. Метод ломаных.....	76
8.4. Одношаговый байесовский алгоритм	77
8.5. Метод Кушнера	79
8.6. Алгоритм глобального поиска	80
8.7. Монотонный алгоритм глобального поиска.....	82
8.8. Локально-адаптивный алгоритм глобального поиска	82
8.9. Смешанный алгоритм глобального поиска	83
8.10. Информационно - статистический алгоритм с локальной настройкой	84
8.11. Задание параметров метода.....	86
ЧАСТЬ 3. Применение системы АБСОЛЮТ в обучении и исследованиях	88
9. Использование системы АБСОЛЮТ в учебном процессе	88
10. Тематика предлагаемых учебных занятий.....	91
10.1. Общее знакомство с возможностями системы.....	91
10.2. Изучение характеристических алгоритмов глобального поиска.....	91
10.3. Изучение информационно-статистических алгоритмов глобального поиска	93
10.4. Попарное сравнение алгоритмов глобального поиска	96
11. Исследование методов глобального поиска с помощью системы АБСОЛЮТ	98
ПРИЛОЖЕНИЯ	106
П1. Установка системы АБСОЛЮТ.....	106
П1.1. Установка системы для Windows-95	106
П1.2. Установка системы для Windows-3.1	108
П1.3. Установка системы для MS DOS	109

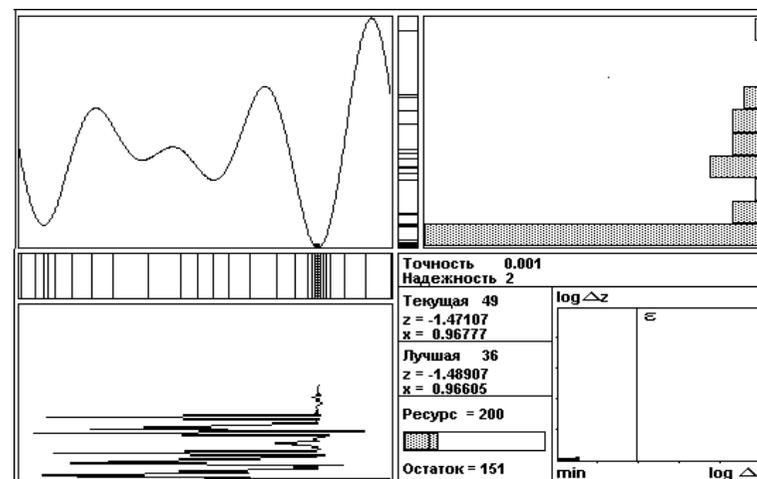
П2. Общее описание команд системы АБСОЛЮТ	110
Начальное меню системы	112
Основное меню	112
Меню выполнения поиска	119
Меню пошагового поиска	120
Меню поиска с указываемыми моментами останова	120
Меню выполнения серии экспериментов	121
Меню ручного поиска	121
Меню управления лупой	125
Литература	127
Предметный указатель	130
Список иллюстраций	135

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
 ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. Н.И.ЛОБАЧЕВСКОГО

АБСОЛЮТ

Программная система для исследований и изучения
МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Учебное пособие



Издательство Нижегородского университета
 Нижний Новгород
 1997

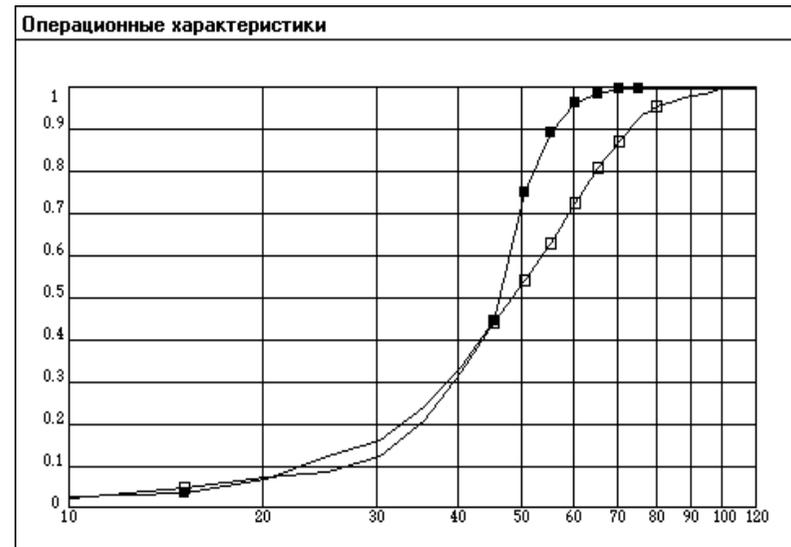
На рисунке показаны операционные характеристики (см. раздел 5 пособия) метода ломаных (маркер □) и смешанного алгоритма глобального поиска (маркер ■), которые указывают для каждого количества итераций соответствующую вероятность нахождения глобального минимума с точностью. Эти вероятности были оценены как частоты решения задач с заданной точностью при минимизации 500 многоэкстремальных функций, сгенерированных при помощи случайного механизма (условия выполненных экспериментов приведены на предыдущей странице).

Полученные результаты свидетельствуют, например, что при выполнении 50 итераций смешанного алгоритма оценка глобального минимума будет получена с требуемой точностью для 75 % задач многоэкстремальной оптимизации. Для получения оценок с требуемой точностью для всего множества решаемых задач необходимо выполнение порядка 70 оптимизационных итераций.

На первой странице обложки показаны результаты минимизации многоэкстремальной функции при помощи алгоритма глобального поиска (Стронгина). На диаграммах рисунка показаны график минимизируемой функции и приведены распределения выбираемых методом точек в области поиска (полоса с вертикальными штрихами) и вычисленных значений функции в этих точках (столбик слева от графика функции). Слева внизу показана траектория выбора точек итераций (траектория направлена снизу вверх). Справа вверху приведена направленная справа налево гистограмма, полосы которой характеризуют частоты вычисления различных значений минимизируемой функции (вертикальная шкала гистограммы представляет диапазон возможных значений минимизируемой функции).

Справа снизу находится информационное табло, на котором указаны требуемая точность решения задачи оптимизации, установленные значения параметров метода, сведения о текущей итерации (в т.ч. номер итерации, координата точки итерации, значение функции в этой точке) и о текущей оценке глобального минимума. В

нижней части табло слева расположена ленточная диаграмм расхода ресурса (число выполненных итераций поиска) с указанием остатка.



Правая часть индикатора используется для датчика точности.

Приведенные диаграммы формируются системой АБОЛЮТ при минимизации многоэкстремальных функций в динамике по мере выполнения итераций глобального поиска и в темпе, удобном для человеческого восприятия. Данный набор графических форм обеспечивает наглядное визуальное представление минимизирующих последовательностей, генерируемых алгоритмами оптимизации, что ускоряет и углубляет понимание теории глобальной оптимизации и развивает интуицию, необходимую для практического применения и дальнейшего развития методов многоэкстремальной оптимизации.

На последней странице обложки показаны операционные характеристики (см. раздел 5 пособия) метода ломаных (маркер □) и смешанного алгоритма глобального поиска (маркер ■), которые указывают для каждого количества итераций соответствующую вероятность нахождения глобального минимума с точностью. Эти вероятности были оценены как частоты решения задач с заданной точностью при минимизации 500 многоэкстремальных функций, сгенерированных при помощи случайного механизма (условия выполненных экспериментов приведены на предыдущей странице).

Полученные результаты свидетельствуют, например, что при выполнении 50 итераций смешанного алгоритма оценка глобального минимума будет получена с требуемой точностью для 75 % задач многоэкстремальной оптимизации. Для получения оценок с требуемой точностью для всего множества решаемых задач необходимо выполнение порядка 70 оптимизационных итераций.

В выполненных экспериментах точность поиска была равной 0.0005 (в долях области поиска [a, b]). Для метода ломаных в качестве параметра метода использовалась оценка точной нижней грани множества констант, при которых выбранная для минимизации функция удовлетворяет условию Липшица (что соответствует наилучшим условиям использования метода). Для смешанного алгоритма коэффициент надежности был равен 2.4, использование локальной адаптации начиналось с 40 итерации глобального поиска, соотношение глобальных и локальных итераций было установлено как 3 к 1.

Полученные результаты свидетельствуют, например, что при выполнении 50 итераций смешанного алгоритма оценка глобального минимума будет получена с требуемой точностью для 75 % задач многоэкстремальной оптимизации. Для получения оценок с требуемой точностью для всего множества решаемых задач необходимо выполнение порядка 70 оптимизационных итераций.