

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Прикладная математика и информатика (01.02.03)
 Отделение информационных технологий

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОИСКА НАИЛУЧШЕГО РЕШЕНИЯ

УДК 004.421.2.023:004.415.2:61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Овсянникова Софья Константиновна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИТ ИШИТР	Гергет Ольга Михайловна	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И. В.	к.э.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	В.В. Матвиенко			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Шевелев Геннадий Ефимович	к.ф. – м.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
01.03.02 Прикладная математика и информатика
Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8Б61	Овсянниковой Софье Константиновной

Тема работы:

Исследование эвристических методов и разработка программного обеспечения для поиска наилучшего решения

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	- руководство по пакету прикладных программы MATLAB; - литературные источники
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> - анализ существующих эвристических методов оптимизации; - детальное изучение эвристических методов: алгоритм плечинной колонии, генетической алгоритм, алгоритм имитации отжига. - программная реализация вышеперечисленных алгоритмов. - проведение вычислительных экспериментов в среде MATLAB, анализ и сравнение полученных результатов.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - блок-схемы алгоритмов; - графики, отображающие результаты работы алгоритмов; - графики зависимости параметров алгоритмов от их ресурсозатратности.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	И.В. Подопригора
Социальная ответственность	В.В. Матвиенко

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИТ ИШИТР	Гергет О.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Овсянникова С.К.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Б61	Овсянниковой Софье Константиновной

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОИТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02/ Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Человеческие ресурсы – 2 человека.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Количество календарных дней – 365; Количество рабочих дней – 247; Количество нерабочих дней – 118
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 0,3.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	– Описание целевой аудитории разрабатываемой системы. – Анализ конкурентных технических решений – Проведение QuaD-анализа. – Матрица SWOT
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– Определение организационной структуры проекта. – Определение трудоемкости выполнения работ. – Разработка календарного плана выполнения проекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегральных показателей эффективности исследования, выбор наилучшего исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И. В.	к.э.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Овсянникова Софья Константиновна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б61	Овсянниковой Софье Константиновной

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОИТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02/ Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОИСКА НАИЛУЧШЕГО РЕШЕНИЯ»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Эвристические алгоритмы: генетический алгоритм, алгоритм имитации отжига, алгоритм пчелиной колонии
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным ЭВМ и организации работы;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Опасные и вредные факторы: 1. Электромагнитные поля; 2. Шум и вибрации; 3. Микроклимат в помещении; 4. Освещенность рабочей зоны; 5. Психофизиологические факторы; 6. Электробезопасность.
3. Экологическая безопасность:	– Анализ воздействия при работе на ПЭВМ на атмосферу, гидросферу, литосферу; – Наличие отходов; – Методы утилизации отходов;
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Перечень возможных ЧС, которые могут возникнуть при работе с объектом исследования. – Способы защиты от пожара и ликвидация последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	В.В. Матвиенко			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	С.К. Овсянникова		

**Планируемые результаты обучения по направлению
01.03.02 «Прикладная математика и информатика»**

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие математические и профессиональные знания для решения задач научно-исследовательской, проектной, производственной и технологической деятельности в области системного и прикладного программирования.
P2	Умение использовать знания по естественнонаучным дисциплинам при определении задач математического моделирования объектов и явлений в различных предметных областях
P3	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
P4	Выполнять инновационные проекты с применением глубоких профессиональных знаний и эффективных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества в условиях экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P5	Демонстрировать знание о формах организации образовательной и научной деятельности в высших учебных заведениях, иметь навыки преподавательской работы.

P6	Способность осуществлять организационно-управленческую и социально-ориентированную деятельность с соблюдением профессиональной этики
Универсальные компетенции	
P7	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, включая разработку документации и представление результатов инновационной деятельности. Толерантность в восприятии социальных и культурных различий.
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P9	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности. Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному и профессиональному саморазвитию.

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на: 90 листах машинописного текста, содержит 23 рисунка, 20 таблиц, 13 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: методы оптимизации, эвристические методы, генетический алгоритм, алгоритм имитации отжига, алгоритм пчелиной колонии, функция Швепеля.

Объектом исследования являются эвристические методы оптимизации.

Цель работы — исследование эвристических методов для поиска наилучшего решения задачи оптимизации.

В процессе выполнения работы проведены исследования различных методов оптимизации целевой функции. В результате исследования проведен сравнительный анализ алгоритмов поиска оптимального решения и выбран лучший из них. Все рассматриваемые алгоритмы реализованы программно в среде визуального программирования MATLAB.

Область применения: отрасли, в которых применимы оптимизационные методы: в исследовании операций и системном анализе, планировании производственной деятельности, проектировании различных объектов, управлении динамическими системами и т. д.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Оптимальное решение — решение, которое по тем или иным признакам предпочтительнее других.

Целевая функция — вещественная или целочисленная функция нескольких переменных, подлежащая оптимизации (минимизации или максимизации) в целях решения некоторой оптимизационной задачи.

Сокращения

АПК – алгоритм пчелиной колонии;

ГА – генетический алгоритм;

ПО – поисковая оптимизация;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

Оглавление

Введение	15
Постановка задачи.....	16
1 Теоретическая часть	17
1.1 Задача нахождения глобального минимума функции	17
1.2 Методы оптимизации	17
1.3 Эвристические алгоритмы	20
1.3.1 Алгоритм пчелиной колонии	21
1.3.2 Генетический алгоритм	22
1.3.3 Алгоритм имитации отжига	24
2 Разработка программного обеспечения	26
2.1 Обоснование выбора среды разработки	26
2.2 Задача поиска наилучшего решения функции Швепеля.....	27
2.3 Реализация алгоритма пчелиной колонии.....	29
2.3.1 Описание реализации метода	29
2.3.2 Результат исследования.....	32
2.4 Реализация генетического алгоритма	34
2.4.1 Описание реализации метода	34
2.4.2 Результат исследования.....	39
2.5 Реализация алгоритма симуляции отжига.....	41
2.5.1 Применение Больцмановского отжига для решения задачи минимизации:	42
2.5.2 Применение быстрого отжига для решения задачи минимизации:	45
2.5.3 Применение отжига Коши для решения задачи минимизации:	47

2.5.2 Результат исследования.....	50
3 Оценка полученных результатов	51
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
5 Социальная ответственность	69
Заключение	83
Список литературы.....	84
Приложение А	86
Приложение Б	88
Приложение В.....	89

Введение

Многие современные проблемы науки, техники, экономики, военного дела и пр. связаны с решением задач поиска оптимальных характеристик объектов проектирования: конструкций, технологий, режимов и условий работы, динамических и статических состояний и т. д. Под оптимальными характеристиками понимаются такие характеристики, которые являются наилучшими среди допустимых при наличии правила предпочтения одного другому. Иными словами, разработчикам приходится решать задачи поисковой оптимизации (ПО). Характерно, что большинство известных на сегодня методов ПО разработано и эффективно используется для нахождения одного оптимума — чаще всего, глобального. Однако многие задачи планирования, сложные технологические комплексы, транспортные задачи и другие объекты оптимизации (особенно дискретной природы) характеризуются многоэкстремальностью. Столь существенное отличительное свойство требует специфических методов решения таких задач. Вряд ли эти методы целесообразно искать в классе детерминированных методов ПО. Они слишком чувствительны к знакопеременности и разрывности функций отклика в континуальных факторных пространствах, а также описываются NP-полными алгоритмами в дискретных факторных пространствах. Для решения большинства реальных оптимизационных задач все чаще стремятся применять методы, получившие название «эвристические». Эти методы наиболее перспективны и для решения многоэкстремальных задач. [1]

Постановка задачи

- Изучение существующих методов решения задачи оптимизации;
- Реализация алгоритма пчелиной колонии для решения задачи нахождения глобального минимума функции Швепеля;
- Реализация генетического алгоритма для решения задачи нахождения глобального минимума функции Швепеля;
- Реализация алгоритма имитации отжига для решения задачи нахождения глобального минимума функции Швепеля;
- Оценка точности значений глобального минимума, найденного каждым алгоритмом;
- Тестирование и настройка алгоритмов;
- Сравнительный анализ результатов работы программных реализаций алгоритмов.

1 Теоретическая часть

1.1 Задача нахождения глобального минимума функции

Существует целевая функция $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, которая определена на множестве допустимых решений $D \in R^n$.

Требуется найти глобальный условный минимум функции $f(x)$ на множестве D , т.е. такую точку $x^* \in D$, что

$$f(x^*) = \min f(x),$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, $D = \{x | x_i \in [a_i, b_i], i = 1, 2, \dots, n\}$.

1.2 Методы оптимизации

В настоящее время большое внимание уделяется приближенным методам глобальной оптимизации, которые позволяют найти решение «высокого качества» за приемлемое (с практической точки зрения) время. Среди них широкое распространение получили эвристические методы оптимизации. Преимущество данных методов состоит в их способности решения сложных задач без знания пространства поиска, именно поэтому эти методы дают возможность решать сложно разрешимые задачи оптимизации. Упрощенно можно рассматривать эвристики, как алгоритмы, реализующие прямой случайный поиск возможных решений задачи, оптимальных или близких к оптимальным, пока не будет выполнено некое условие или достигнуто заданное число итераций.

Методы «роевого» интеллекта

Методы «роевого» интеллекта имитируют процессы поведения живых организмов (роя). Основная идея состоит в моделировании поведения роя при поиске пищи (минимума функции). Каждый член роя рассматривается как частица в многомерном пространстве, которая имеет положение и присущие ему признаки (скорость, и т.п.). Члены роя сообщают друг другу информацию о хороших позициях друг друга и используют ее для корректировки своего

положения и скорости на каждой итерации. К данной группе методов относятся:

- метод частиц в стае;
- метод муравьиных колоний;
- методы пчелиных колоний;
- метод, имитирующий поведение рыб в стае;
- метод, имитирующий поведение светлячков;

Мультистартовые методы

Мультистартовые методы (мультистарт) состоят в многократном поиске локальных минимумов из различных начальных точек. Для повышения эффективности мультистарта используются: исключение повторных спусков в те же локальные минимумы, обеспечение выхода траектории спуска из «неглубоких ям» и генерирование перспективных начальных точек. К данной группе методов относятся:

- жадный адаптивный метод случайного поиска;
- метод направленного табу-поиска.

Методы, имитирующие физические процессы

Методы, имитирующие физические процессы основаны на физических явлениях и законах. В основе лежат физические формулы и законы. Например, закон всемирного тяготения, как основа метода гравитационной кинематики. Главной особенностью метода является использование значения целевой функции в качестве массы частицы, учувствовавшей в гравитационном взаимодействии. Методы, имитирующие физические процессы, являются детерминированными, именно это и позволяет выделить их в отдельную группу. Детерминированность методов обеспечивает воспроизводимость экспериментов. К данной группе методов относятся:

- метод гравитационной кинематики;
- метод имитации отжига;

- адаптивный метод имитации отжига;
- метод поиска гармонии.

Эволюционные методы

Эволюционные методы поиска (Evolutionary Methods) имитируют процесс эволюции – природного развития популяции особей. В основе эволюционных методов лежат принципы, заимствованные из биологии и генетики. Основная идея эволюционных методов состоит в создании популяции особей (индивидов). В задаче оптимизации каждая особь соответствует одному из возможных решений. Для поиска наилучшего решения используется значение целевой функции или связанной с ней функции приспособленности. Значение функции приспособленности показывает, насколько хорошо подходит особь в качестве решения задачи. Для обеспечения процесса эволюционного поиска к текущей популяции применяются основные генетические операции: селекция, скрещивание, кроссинговер, мутация, клонирование, в результате которых генерируется новая популяция при помощи добавления новых особей с лучшими значениями функции приспособленности и удаления старых. К данной группе методов относятся:

- генетические алгоритмы;
- эволюционная стратегия преобразования ковариационной матрицы;
- метод динамических сеток;
- методы дифференциальной эволюции;
- метод, имитирующий распространение сорняков;
- метод, имитирующий поведение кукушек.

Разные категории методов оптимизации подразумевают разные подходы к решению задачи. Цель данной работы проверить эффективность каждой категории.

Для этих целей выбраны следующие алгоритмы:

- Алгоритм пчелиной колонии, принадлежащий к категории методов пчелиного роя.
- Генетический алгоритм, принадлежащий эволюционным методам.
- Алгоритм имитации отжига, принадлежащий методам, имитирующим физические процессы.
- Мультистартовые методы рассмотрены не были, т.к. они требуют больших вычислительных затрат.

Основная сложность при практической реализации метода «мультистарт» состоит в следующем: для того чтобы с заданной точностью отыскать точку глобального минимума, необходимо взять количество начальных точек для локальных алгоритмов существенно большее, чем число локальных минимумов функции (которое к тому же обычно неизвестно). Это значит, что с многоэкстремальной функцией, которая рассмотрена в данной работе, алгоритм справится неэффективно.

1.3 Эвристические алгоритмы

Эвристический алгоритм — это алгоритм решения задачи, правильность которого для всех возможных случаев не доказана, но про который известно, что он даёт достаточно хорошее решение в большинстве случаев. Данный метод возможно применять в случае, если при этом он даёт неверный результат только в отдельных, достаточно редких и хорошо выделяемых случаях [2].

Главное преимущество данных алгоритмов заключается в их универсальности. Эвристики способны находить решения даже в очень сложных, непредвиденных ситуациях, которые могут быть следствием не разработанности конкретной теории, неполноты или недостоверности исходных данных.

Эвристические методы упрощают и ускоряют процесс принятия решений за счет сужения всей области перебора до некоей зоны, основываясь на предшествующих примерах.

1.3.1 Алгоритм пчелиной колонии

Общий принцип

Алгоритм искусственной пчелиной колонии (АПК) — это эвристический алгоритм, который был введен Карабогой в 2005 году. Вдохновленный поведением роя медоносных пчел, Д. Карабога предложил алгоритм искусственной пчелиной колонии (АПК), который разработан для оптимизации функций. [3]

В модели алгоритма АПК рой медоносных пчел состоит из трех типов пчел, которые выполняют различные задачи. Первую группу пчел называют занятыми пчелами. У них есть потенциальное решение, они оценивают его ценность и сохраняют лучшие решения в своей памяти. Вторая группа пчел называется пчелами-наблюдателями. Они выбирают потенциальные решения на основе информации, предоставленной занятыми пчелами. Если потенциальное решение имеет высокую ценность, многие наблюдатели выбирают решение. Третья группа пчел называется пчелами-разведчиками. Они исследуют новые потенциальные решения случайным образом. Работающая пчела, потенциальное решение которой было оставлено, становится пчелой-разведчиком. Алгоритм АПК итеративно используется этими тремя группами искусственных медоносных пчел для поиска лучшего решения.

Базовый алгоритм искусственной пчелиной колонии (АПК) обладает преимуществами высокой надежности, быстрой сходимости и высокой гибкости. Также этот алгоритм достаточно прост в реализации и отладке за счет небольшого количества параметров настройки.

Блок-схема алгоритма выглядит следующим образом

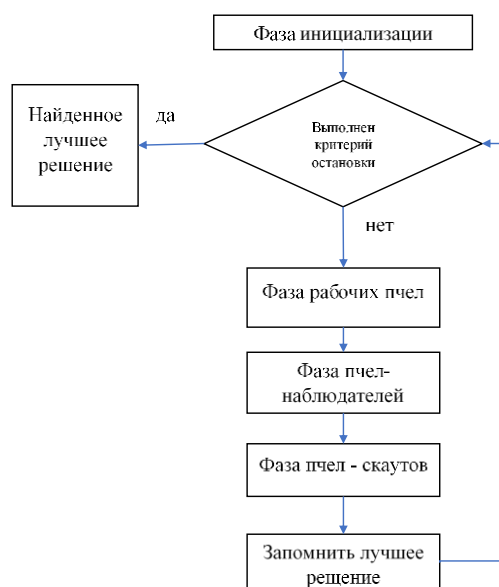


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритма пчелиной колонии

1.3.2 Генетический алгоритм

Общий принцип

Генетические алгоритмы (ГА) – это алгоритмы поиска, основанные на принципе эволюции, которые предложены в 1975 году Джоном Холландом. Как правило, ГА состоят из трех основных операторов: селекции, скрещивания, мутации. Цикл кроссинговера, скрещивания и мутации с последующей оценкой приспособленности называется поколением [4].

Генетические алгоритмы оперируют совокупностью особей (популяцией). Каждая особь представляет собой вектор, кодирующий одно из решений задачи.

$$u = [u_1, u_2, \dots, u_n]$$

Этот вектор принято называть хромосомой, а его компоненты генами. Каждая хромосома обладает функцией приспособленности. Эта функция позволяет понять, насколько рассматриваемое решение хорошее. За счет этой функции особи делятся на два типа:

- Самые приспособленные (наиболее подходящие решения). Эти особи остаются в популяции и получают возможность участвовать в скрещивании и давать потомство.
- Наименее приспособленные (плохие решения), постепенно удаляются из популяции (вымирают) и не дают потомства.

Таким образом, происходит естественный отбор, в результате которого приспособленность нового поколения все время в среднем становится выше предыдущего.

Типовой алгоритм представлен на рисунке 5.1. Перед началом работы алгоритма определяются вероятность кроссинговера и мутации.

Вероятность кроссинговера рекомендуется выбирать равной 80-90%, а вероятность мутации – 1-3%. Эти числа могут варьироваться в зависимости от решаемой задачи.



Рисунок 2 - Общая схема работы генетического алгоритма (ГА)

Терминология

Хромосома – вектор, состоящий из каких-либо значений (генов). Каждая позиция хромосомы называется геном.

Генотип – набор хромосом данной особи. Достаточно часто генотип состоит из одной хромосомы.

Селекция хромосом заключается в выборе (по рассчитанным значениям функции приспособленности) тех хромосом, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции, т.е. для очередного поколения.

Кроссинговер (скрещивание) – объединение двух генотипов-родителей с целью создания более приспособленного потомка.

Мутация – случайное изменение одного или нескольких генов в хромосоме.

1.3.3 Алгоритм имитации отжига

Алгоритм имитации отжига основан на моделировании физического процесса, который происходит при кристаллизации вещества из жидкого состояния в твердое (к примеру, при отжиге металлов).

Достоинством метода отжига является свойство избегать "ловушек" в локальных минимумах оптимизируемой функции, и продолжать поиск глобального минимума. Это достигается за счет принятия не только изменений параметров, приводящих к уменьшению значения функции, но и некоторых изменений, увеличивающих ее значение, в зависимости от температуры T – характеристики моделируемого процесса. Чем выше температура, тем большие "ухудшающие" изменения допустимы, и больше их вероятность.

Еще одним достоинством является то, что даже в условиях нехватки вычислительных ресурсов для нахождения глобального минимума, метод отжига, как правило, выдает весьма неплохое решение (один из локальных минимумов).

Общий принцип:

В ходе «отжига» металл сначала нагревают до некоторой температуры, что заставляет атомы кристаллической решетки покинуть свои позиции. Затем начинается медленное и контролируемое охлаждение. Атомы стремятся попасть в состояние с меньшей энергией, однако, с определенной

вероятностью они могут перейти и в состояние с большей. Эта вероятность уменьшается вместе с температурой [5]. Переход в худшее состояние, как ни странно, помогает в итоге отыскать состояние с энергией меньшей, чем начальная.

Алгоритм:

Шаг 1. Задаем начальную максимальную температуру, которая с течением времени будет снижаться до заданного минимального порога.

Шаг 2. Задаем начальное произвольное состояние и сравнивая его с последующим, оцениваем его на минимальность.

Шаг 3. Если условие минимальности не выполняется, осуществляем переход из этого состояния \vec{x}^* в следующее состояние \vec{x}_{i+1} с определенной вероятностью, равной

$$P(\vec{x}^* \rightarrow \vec{x}_{i+1} | \vec{x}_i) = \begin{cases} 1, & F(\vec{x}^*) - F(\vec{x}_i) < 0 \\ \exp(-\frac{F(\vec{x}^*) - F(\vec{x}_i)}{Q_i}), & F(\vec{x}^*) - F(\vec{x}_i) \geq 0 \end{cases} \quad (7.2)$$

Q_i - элементы произвольной убывающей, сходящейся к нулю последовательности. Она представляет собой аналог понижающейся температуры во время реального физического процесса.

Шаг 4. Понижаем значение температуры.

Шаг 5. Возвращаем последнее состояние.

Алгоритм работает до тех пор, пока температура не снизится до заданного минимального значения.

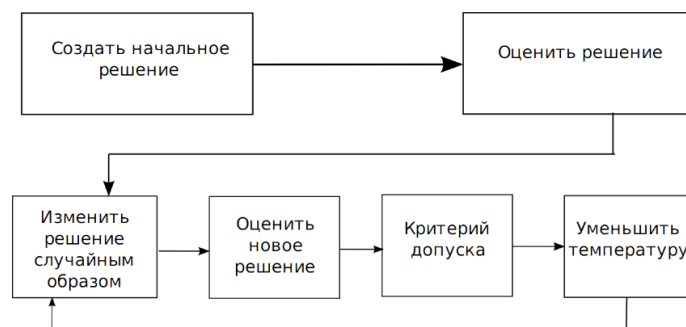


Рисунок 3 - Схема алгоритма имитации отжига

2 Разработка программного обеспечения

2.1 Обоснование выбора среды разработки

MATLAB - пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений. MATLAB является как коммерческой вычислительной средой, так и языком программирования.

Язык MATLAB является высокоуровневым интерпретируемым языком программирования, включающим основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

- MATLAB предоставляет удобные средства для разработки алгоритмов. В нём имеются все необходимые средства интегрированной среды разработки, включая отладчик и профайлер. Функции для работы с целыми типами данных облегчают создание алгоритмов для микроконтроллеров и других приложений, где это необходимо.
- MATLAB предоставляет пользователю большое количество функций и инструментов для анализа данных, покрывающих практически все области математики.
- В составе пакета MATLAB имеется возможность построения двухмерных и трехмерных графиков, визуального анализа данных а также создания анимированных роликов.
- Предоставление бесплатной лицензии данной программы для студентов технических вузов.

2.2 Задача поиска наилучшего решения функции Швепеля

Существует функция:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (-x_i * \sin(\sqrt{|x_i|}))$$

которая определена на множестве допустимых решений $-500 \leq x \leq 500$,
 $-500 \leq y \leq 500$.

Известно, что глобальный минимум функции Швепеля расположен в точке $\min = [420.9687, 420.9687]$. Значение функции в этой точке составляет:

$$f(\min) = -837.9658$$

Данная функция имеет название *функция Швепеля*. Она считается одной из общепринятых тестовых функций для проверки производительности алгоритмов оптимизации. Таким образом, в работе для исследований используется многоэкстремальная функция Швепеля. Это дает возможность проверить алгоритмы на проблему «застревания» в локальном минимуме. Ее трехмерный вид представлен на рисунке 4.

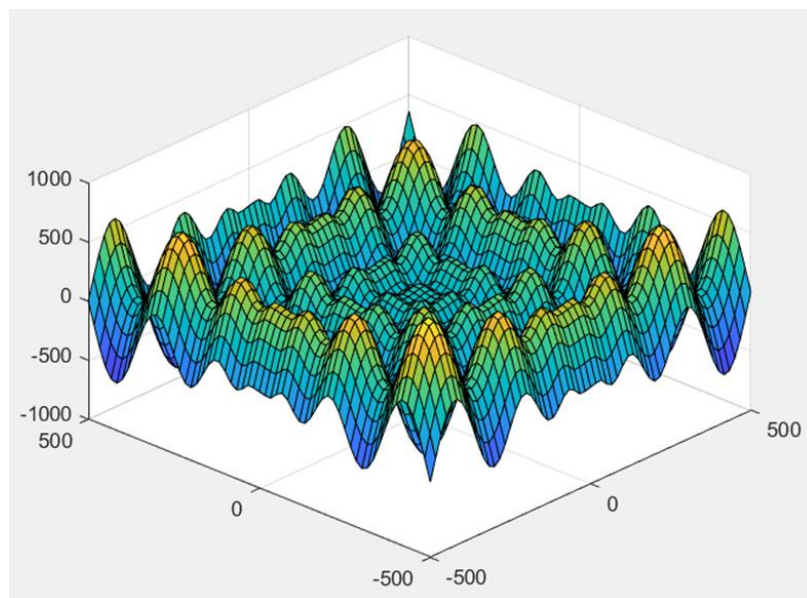


Рисунок 4 - Трехмерный график функции Швепеля

Требуется найти глобальный условный минимум функции $f(x)$ вышеприведенными эвристическими алгоритмами и сравнить полученные результаты.

Отообразим глобальный минимум на контурном графике поверхности функции Швевеля.

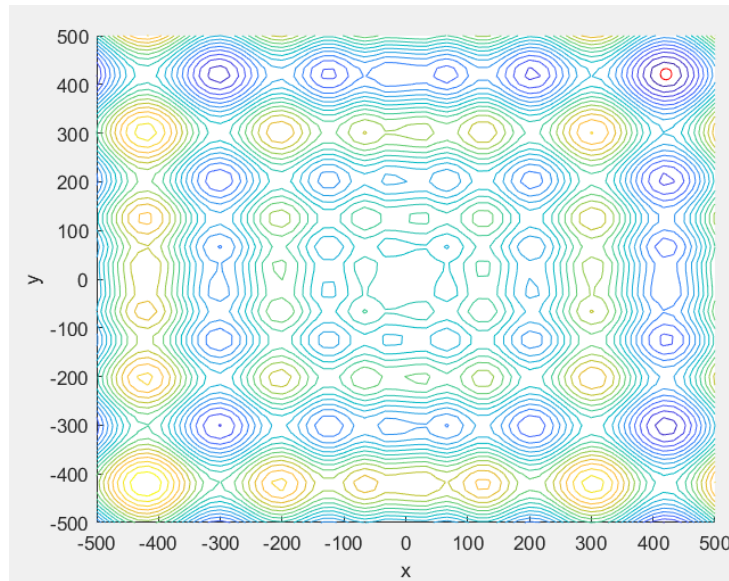


Рисунок 5 - Контурный график функции Швевеля

Синим и фиолетовым цветом обозначены локальные минимумы, а также единственный глобальный минимум, расположенный в точке $Z_{\min} = [420.9687, 420.9687]$. Желтым отмечены максимумы функции. Область значений x и y , в которую предположительно должны попадать алгоритмы, представлена на рисунке 6.

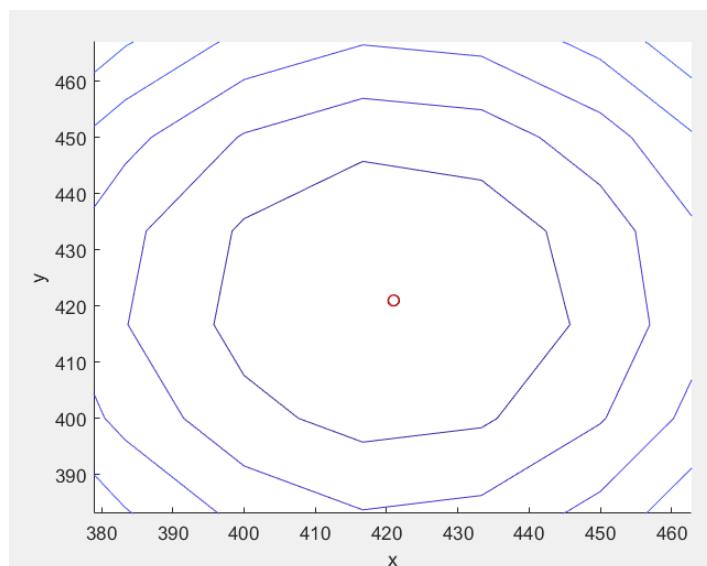


Рисунок 6 - Область нахождения глобального минимума

2.3 Реализация алгоритма пчелиной колонии

2.3.1 Описание реализации метода

Алгоритм состоит из 4 следующих фаз:

Первая фаза – фаза инициализации.

Создаются векторы источников пищи $\overline{x_m}$, ($m = 1 \dots nPop$, $nPop$ – размер популяции). Далее задаются контрольные параметры, указанные выше. Каждый вектор источника пищи $\overline{x_m}$ состоит из n переменных (x_{mi} , $i = 1 \dots nVar$), которые должны быть оптимизированы с целью нахождения минимального значения функции. Для инициализации векторов используется следующее уравнение:

$$x_{mi} = l_i + rand(0, 1) * (u_i - l_i) \quad (1)$$

где $l_i = -500$ и $u_i = 500$ - нижняя и верхняя границы параметра x_{mi} (диапазона определения функции) соответственно.

Вторая фаза – фаза рабочих пчел.

Рабочие пчелы находят соседний источник питания $\overline{v_m}$, а затем оценивают его пригодность. Для определения соседнего источника пищи используется формула, заданная уравнением (2):

$$v_{mi} = x_{mi} + \varphi_{mi}(x_{mi} - x_{ki}) \quad (2)$$

где x_{ki} – случайно выбранный источник пищи

x_{mi} – ранее найденный источник пищи

φ_{mi} – случайно выбранное число в диапазоне $[-a; a]$

После создания нового источника пищи $\overline{v_m}$, рассчитывается его пригодность и применяется жадный выбор между $\overline{v_m}$, и $\overline{x_m}$.

Значение пригодности решения $fit_m(\overline{x_m})$ рассчитывается по следующей формуле:

$$fit_m(\overline{x_m}) = \frac{1}{1 + (f_m(\overline{x_m}) - (f_m(\overline{x_*})))^2},$$

где $f_m(\overline{x_m})$ – значение целевой функции от найденного источника пищи

$f_m(\overline{x_*})$ – среднее от всех значений целевой функции

Третья фаза – фаза безработных пчел.

Происходит отбор наиболее пригодных участков. Для этой цели используется метод колеса рулетки.

Значение вероятности p_m , при котором пчела-наблюдатель выбирает $\overline{x_m}$, можно рассчитать с помощью выражения, приведенного в уравнении:

$$p_m = \frac{fit_m(\overline{x_m})}{\sum_{m=1}^{nPop} fit_m(\overline{x_m})} \quad (4)$$

где $fit_m(\overline{x_m})$ – значение пригодности решения $\overline{x_m}$,

$nPop$ – размер популяции

После вероятностного выбора источника пищи $\overline{x_m}$ для пчелы-наблюдателя определяется соседний источник $\overline{v_m}$ с использованием уравнения (1) и вычисляется значение его пригодности.

Как и на этапе использования рабочих пчел, жадный выбор применяется между $\overline{v_m}$ и $\overline{x_m}$.

Четвертая фаза – фаза пчел - скаутов.

Решения $\overline{x_m}$, которые не могут быть улучшены с помощью заранее определенного числа испытаний, определяемых значением L , отменяются. Вследствие этого происходит поиск новых решений $\overline{x_m}$ с помощью уравнения (1).

Скорость сходимости алгоритма к глобальному минимуму зависит от коэффициента ускорения a , участвующего в формуле нахождения соседнего источника пищи пчелы (2.1).

$$v_{mi} = x_{mi} + \varphi_{mi}(x_{mi} - x_{ki}) \quad (2.1)$$

где φ_{mi} – случайно выбранное число в диапазоне $[-a; a]$ которое в свою очередь определяется уравнением (2.2).

$$\varphi_{mi} = a * \text{unirnd}(-1, +1, \text{VarSize}) \quad (2.2)$$

VarSize – матрица размера решения

Проанализируем работу алгоритма при разных значениях коэффициента a , для этого построим два графика: среднее количество итераций до полной сходимости алгоритма и средняя среднеквадратическая ошибка результата.

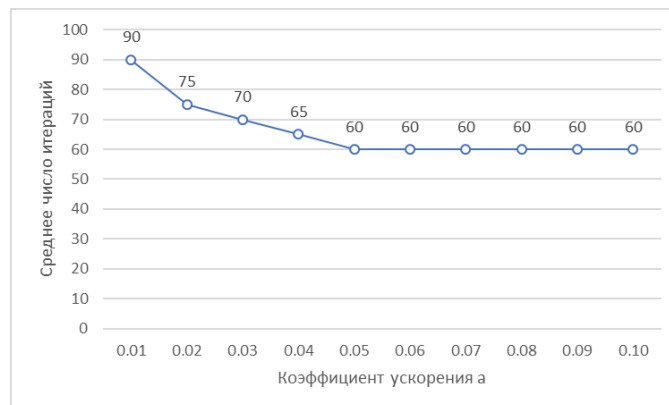


Рисунок 7 - Зависимость количества итераций для сходимости алгоритма от коэффициента ускорения

По графику можно сделать вывод что с увеличением коэффициента ускорения до 0.05 алгоритм выполняется за меньшее число итераций, т.к. быстрее движется в сторону глобального минимума, но с увеличением коэффициента больше 0.05 скорость сходимости остается на одном уровне, вероятно это связано с тем, что скачки становятся слишком большие и алгоритм теряет точность проверки значений.

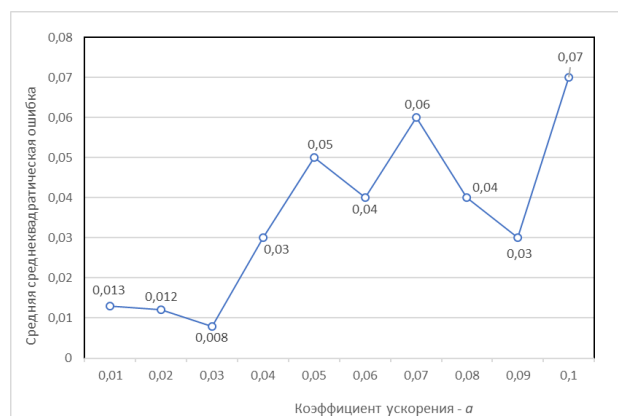


Рисунок 8 - Зависимость среднеквадратической ошибки от коэффициента ускорения

На графике 8 видно, что ошибка минимальная при значении коэффициента $a = 0.03$, при таком значении среднее кол-во итераций для полной сходимости к минимуму $MaxIt = 70$. Меньшее число итераций приводит к большей ошибке. Следовательно значения $a = 0.03$ и $MaxIt = 70$ являются оптимальными для данной задачи.

На основе анализа коэффициента, влияющего на сходимость алгоритма для решения данной задачи выбраны следующие параметры:

- Количество переменных $nVar = 2$.
- Начальная популяция $nPop = 100$ частиц.
- Коэффициент изменения скорости частицы $a = 0.03$.
- Количество итераций $MaxIt = 70$.
- Количество пчел - наблюдателей $nOnlooker = nPop$;
- Предел отмены, определяемый формулой (4), $L = 120$.

$$L = \text{round}(0.6 * nVar * nPop) \quad (4)$$

2.3.2 Результат исследования

Проведем серию из 100 испытаний алгоритма пчелиной колонии с целью нахождения глобального минимума функции Швепеля, и выведем результаты испытаний на одном графике:

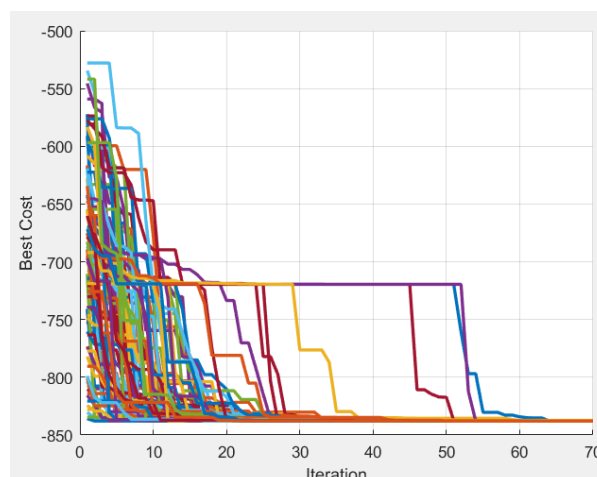


Рисунок 9 - Серия тестов алгоритма пчелиной колонии

Случайно сгенерированные решения имеют достаточно большой начальный разброс, каждый раз алгоритм случайным образом выбирает маршрут, но к 70 итерациям они все стремятся к глобальному минимуму.

Рассмотрим полученные значения на контурном графике:

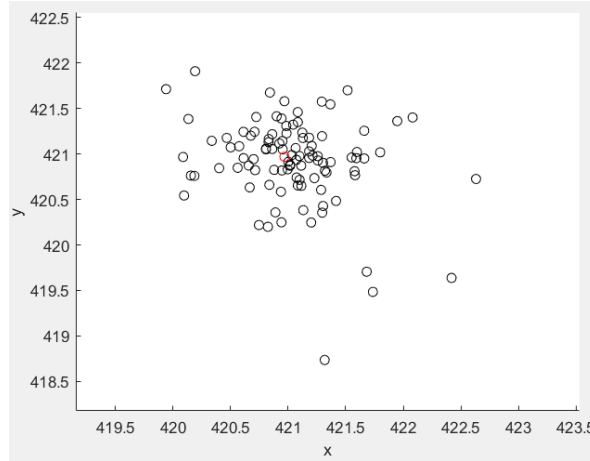


Рисунок 10 - Разброс найденных решений алгоритма пчелиной колонии

Эталонное значение отмечено на графике 10 красной точкой и находится в координате $\min = [420.9687, 420.9687]$. Найденные алгоритмом решения лежат в диапазоне $x \in [420.2315 - 422.9241]$ и $y \in [420.4283 - 421.4241]$.

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение для каждого найденного решения по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_1 - y_2)^2}{n}}$$

где y_1 – найденное алгоритмом решение, y_2 – эталонное значение

Усредним значения, в результате получим, что $\sigma = 6.5084e-05$.

2.4 Реализация генетического алгоритма

2.4.1 Описание реализации метода

Произведем вычисление глобального минимума генетическим алгоритмом.

Алгоритм реализован следующим образом:

Шаг 1. Создается начальная популяция $S = [S_1, S_2, \dots, S_{nIND}]$.

Шаг 2. Оценивается степень приспособленности каждой хромосомы и запоминается лучшее значение $F_{min} = \min f(S_i)$

Шаг 3. Выбираются родители S_{i1}, S_{i2} из популяции при помощи метода селекции.

Шаг 4. К S_{i1}, S_{i2} применяется оператор скрещивания и образуется новое решение S' .

Шаг 5. К S' применяется оператор мутации и получается решение S'' .

Шаг 6. Оценивается степень приспособленности каждой особи в новой популяции. Если $f(S'') < F_{min}$, то $F_{min} = f(S'')$

Шаг 7. На этом шаге S'' добавляется в популяцию, а также из популяции удаляется худшее решение.

Шаг 8. Переход к шагу 3, если количество поколений не превышает допустимого ($GEN < MAXGEN$).

Формирование начальной популяции заключается в выборе решений (особей) из множества допустимых решений. Также определяется размер популяции. Результат работы генетического алгоритма напрямую зависит от выбора начальной популяции и от ее размера.

Оператор скрещивания представляет собой скрещивание двух объектов. Имеются два «родителя» $u^1, u^2 \in U$ и процедура, которая позволяет сделать алгебраическую операцию $u^1 \otimes_d u^2$, где d принадлежит некоторому семейству индексов ($d \in D \subset R$).

d - случайное число от 1 до m , m - длина хромосомы.

В работе рассматриваются следующие типы оператора скрещивания:

- однотоочечный оператор скрещивания

Параметр оператора скрещивания выбирается случайно. Результатом оператора являются два потомка. Один из этих потомков присваивает себе часть генов первого родителя, которая находится левее разделителя d , и часть генов второго родителя, которая находится правее. Другой же потомок, наоборот, первую часть генов берет у второго родителя, оставшуюся часть – у первого.

- двухточечный оператор скрещивания

Случайным образом выбираются два разделителя d_1, d_2 . Результатом будут две особи. Одна особь возьмет часть генов первого родителя до разделителя d_1 и после разделителя d_2 , другую часть – у второго родителя между разделителями. Вторая особь возьмет часть генов у второго родителя до разделителя d_1 и после разделителя d_2 , оставшуюся часть – у первого родителя между разделителями.

- оператор скрещивания, зависящий от родителей

Рассматривается еще один вариант оператора скрещивания, похожий на однотоочечный оператор. Однако, в отличие от однотоочечного оператора, разделитель выбирается не произвольно, а в соответствии со следующей формулой:

$$k = \frac{fit(u^1)}{fit(u^1) + fit(u^2)} \in (0,1),$$

k принадлежит интервалу от 0 до 1, fit – функция приспособленности.

Значение разделителя d высчитывается следующим образом: интервал $(0, 1)$ делится на шесть равных частей. Параметр d будет равен порядковому номеру части интервала $(0, 1)$, в который попало значение.

Оператор мутации предполагает случайное изменение генов в решении. Данный оператор является вероятностным. С определенной вероятностью исходное решение, которое подвергается мутации, может

измениться как в лучшую сторону (увеличится приспособляемость), так и в худшую (приспособляемость уменьшится).

Оператор селекции заключается в выборе (по рассчитанным значениям функции приспособленности) тех хромосом, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции, т.е. для очередного поколения. Такой выбор производится согласно принципу естественного отбора, по которому наибольшие шансы на участие в создании новых особей имеют хромосомы с наибольшим значением функции приспособленности.

В работе рассматриваются следующие виды селекции:

- Метод рулетки

Отбираются хромосомы путем запуска рулетки. Рулетка поделена на сектора, которые соответствуют отдельным хромосомам. Величина сектора зависит от функции приспособляемости особи.

- Пропорциональная селекция

Из популяции случайным образом выбираются два родителя. Для решения S_i вероятность быть выбранным обратно пропорциональна значению целевой функции $f(S_i)$. Родители для скрещивания выбираются до тех пор, пока они не будут различны.

- Лучший + случайно выбранный.

В качестве первого родителя выбирается та особь, которая имеет рекордную функцию приспособляемости (минимальное значение фитнес-функции). Второй родитель выбирается случайным образом.

Самый частый и трудоемкий процесс в работе генетического алгоритма – это вычисление функции приспособляемости $Fitness(Chromosome)$. Поэтому процесс вычисления этой функции распараллеливается. Тем самым, генетический алгоритм занимает гораздо меньше времени для получения требуемого результата.[6]

При рассмотрении результатов работы ГА варьируются способы селекции и скрещивания особей:

- Селекция – наилучший + случайно выбранный (*BestRand*);
Скрещивание – одноточечное (*1pCrossing*).
- Селекция – наилучший + случайно выбранный; Скрещивание – двухточечное (*2pCrossing*).
- Селекция – наилучший + случайно выбранный;
Скрещивание (*β Crossing*) –

$$u^l \otimes_k u^r, \quad k = \frac{F(u^l)}{F(u^l) + F(u^r)}$$

- Селекция – рулеточный отбор (*Roulette*); Скрещивание – одноточечное.
- Селекция – рулеточный отбор; Скрещивание – двухточечное.
- Селекция – рулеточный отбор; Скрещивание –

$$u^l \otimes_k u^r, \quad k = \frac{F(u^l)}{F(u^l) + F(u^r)}$$

На рисунке ниже представлены усредненные по 100 запускам графики зависимостей значений функции приспособляемости от итерации:

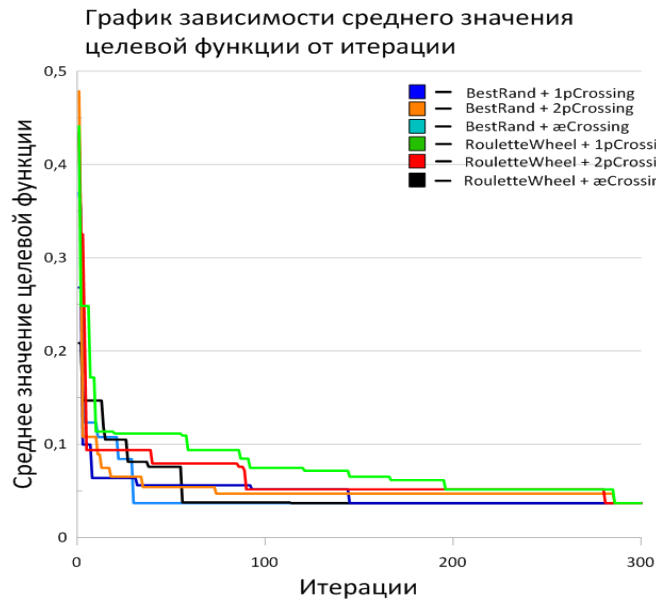


Рисунок 11 - Усредненный график зависимости целевой функции от итерации.

Из рисунка выше можно заключить, что все рассматриваемые способы реализации ГА сходятся к оптимальному решению задачи. Также можно сделать вывод, что комбинация:

Селекция — наилучший + случайно выбранный(*BestRand*);
Скрещивание —

$$u^l \oplus_k u^r, \quad k = \frac{F(u^l)}{F(u^l) + F(u^r)}$$

сходится быстрее других рассматриваемых комбинаций «селекция-скрещивание».

Ниже приведена таблица результатов работы генетического алгоритма для ста независимых запусков.

Таблица 1. результаты работы генетического алгоритма для ста независимых запусков

Способ селекции и скрещивания	Достижение оптимума (да/нет)	Среднее время работы алгоритма (сек.)	Среднее количество итераций	Размер популяции
BestRand+1pCrossing	да	0.240	146	30
BestRand+2pCrossing	да	0.301	290	25
BestRand+æCrossing	да	0.172	30	20

Roulette+1pCrossing	да	0.280	290	25
Roulette+2pCrossing	да	0.289	284	30
Roulette+æCrossing	да	0.196	55	30

Из таблицы видно, что реализация генетического алгоритма с комбинацией «*BestRand* + *æCrossing*» требует меньшее число итераций для достижения оптимума и занимает меньше времени.

Таким образом, способ реализации ГА с парой «*BestRand* + *æCrossing*» является самым предпочтительным среди рассматриваемых подходов для решения данной задачи генетическим алгоритмом.

Суммируя всё выше сказанное, отметим, что для решения задачи минимизации функции Швифеля были выбраны следующие параметры алгоритма:

- Число поколений $MAXGEN = 70$;
- Начальная популяция хромосом $nIND = 100$;
- Метод селекции – наилучший + случайно выбранный (*BestRand*);
- Тип скрещивания – *æCrossing*.
- Параметр для линейного кроссовера, $alfa = 0$.
- Вероятность скрещивания $Pc = 0,9$;
- Вероятность мутации $Pm = 0,1$.
- Функция пригодности(*fit*) – функция Швифеля.

2.4.2 Результат исследования

Проведем серию из 100 испытаний генетического алгоритма с целью нахождения глобального минимума функции Швифеля и выведем их на одном графике:

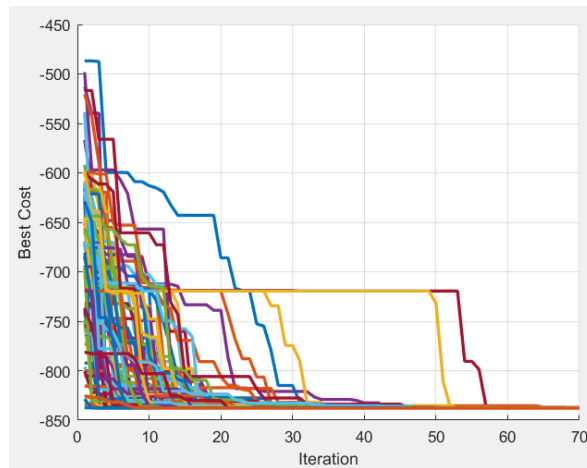


Рисунок 12 - Серия тестов генетического алгоритма

Рассмотрим полученные результаты на контурном графике:

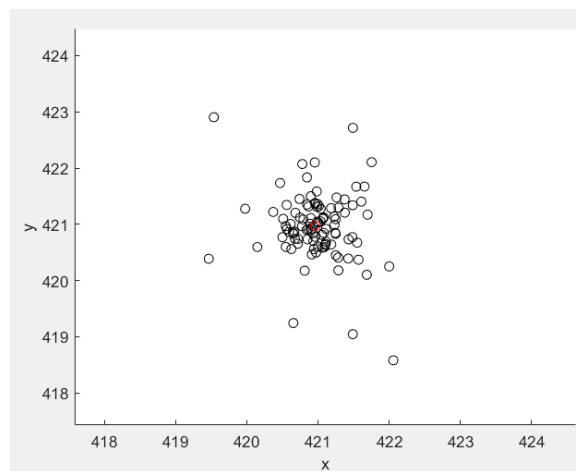


Рисунок 13 - Разброс найденных решений генетическим алгоритмом

Эталонное значение отмечено на графике 13 красной точкой и находится в координате $\min = [420.9687, 420.9687]$. Найденные алгоритмом решения лежат в диапазоне $x \in [419,9793, 421,6865]$ и $y \in [420,1027, 422,7165]$

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение для каждого найденного решения по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_1 - y_2)^2}{n}}$$

где y_1 – найденное алгоритмом решение, y_2 – эталонное значение

Усредним результаты и получим значение $\sigma = 9.3249\text{e-}05$.

2.5 Реализация алгоритма симуляции отжига

Алгоритм имитации отжига реализуется следующим образом:

1. $k = 0$;
2. Задается начальная максимальная температура T_{max} и минимальная температура T_{min} ;
3. Задается начальная точка x_0 ;

$$T(k) = \frac{T_0}{k}.$$

4. Пока температура не достигнет минимального значения выполняем:

4.1 $x' = g_{\xi}(u_k)$ где ξ - случайная величина, принимающая значения из некоторого множества S .

4.2 $\Delta = f(x') - f(x_k)$

4.3 Если $\Delta \leq 0$ то $x_{k+1} = x'$

4.4 Если $\Delta > 0$ то $\eta \sim R(0,1)$ – случайная величина. Если $\eta <$

$$\exp\left\{-\frac{\Delta}{t_k}\right\}, \text{ то } x_{k+1} = x' \text{ иначе } x_{k+1} = x_k.$$

4.5 $k = k+1$

4.6 $t_{k+1} = T(k)$

T_{max} выбирается произвольно и должна соизмеряться с той функцией, которую необходимо минимизировать. Начальное состояние x_0 также выбирается произвольно (может быть выбрано случайное значение или фиксированное).

Отличительной особенностью данного алгоритма от градиентных алгоритмов является то, что он может делать не оптимальные шаги (принимать худшие решения), в то время как последние худшие решения всегда отбрасывают. Поскольку данный алгоритм с определенной вероятностью принимает худшие решения, его называют стохастическим (вероятностным). Эта особенность – двигаться не только в сторону улучшения решения, но и немного отступить назад, защищает алгоритм от проваливания в локальный минимум. [7]

Вероятностный переход к худшему решению осуществляется по следующему принципу: генерируется случайное число в диапазоне от 0 до 1. Если это число находится в интервале $[0, \exp\{-\frac{\Delta}{t_k}\}]$, то решение принимается (алгоритм отступает назад). В противном случае алгоритм остается на месте. Можно сделать следующий вывод: чем больше температура, тем больше экспонента $\exp\{-\frac{\Delta}{t_k}\}$ и соответственно больше вероятность принятия худшего решения. Однако температура со временем снижается и большой она остается только на первых итерациях. Поэтому у алгоритма есть возможность «погулять» по множеству допустимых решений на первых итерациях. Со временем вероятность принятия худшего решения уменьшается в соответствии с выбранным законом изменения температуры и алгоритм все больше вынужден принимать только лучшие решения.

Как и в случае генетических алгоритмов, у алгоритма имитации отжига также существует множество различных реализаций, которые отличаются друг от друга способом генерации новых состояний и функцией изменения (понижения) температуры.

2.5.1 Применение Больцмановского отжига для решения задачи минимизации:

Больцмановский отжиг характеризуется следующим законом изменения температуры:

$$T(k) = \frac{T_{max}}{1 + \ln(k)}$$

и способом выбора нового решения:

$$g_s(u) = u + t_k * N(0; 1)$$

где $N(0; 1)$ – стандартное нормальное распределение;

t_k – значение температуры на k – й итерации.

Нормальное распределение моделировалось следующим образом:

Реализовывались равномерно распределенные случайные величины γ_i на отрезке $[0; 1]$. Как известно, для равномерно распределенной случайной величины γ_i математическое ожидание равно нулю, а дисперсия $-\frac{1}{12}$.

Далее, воспользовавшись центральной предельной теоремой, можно получить следующее приближение:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} N(0; 1)$$

Для $n = 24$ это приближение получается достаточно хорошим.

Ниже приведены результаты моделирования Больцмановского отжига для начальной температуры $t_{max} = 100$ и конечной $t_{min} = 0,1$.

График зависимости температуры Больцмановского отжига от итерации:

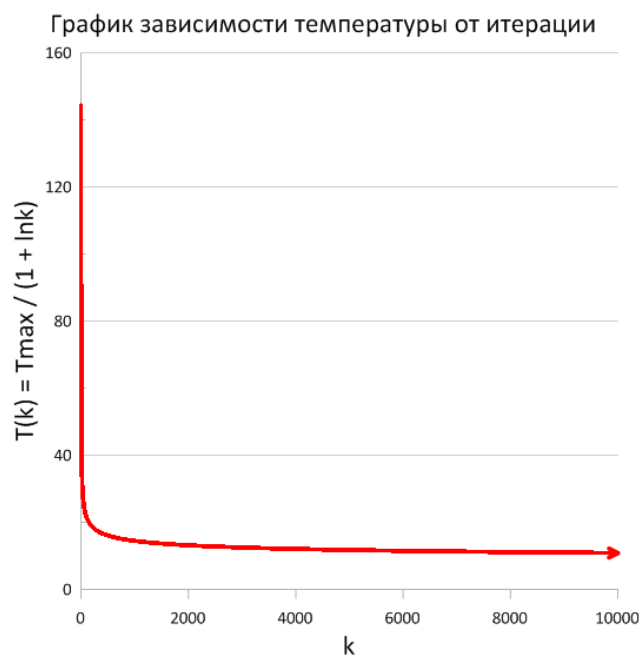


Рисунок 14 - График изменения температуры Больцмановского отжига.

Как видно, $T(k)$ является убывающей функцией. Однако температура убывает очень медленно и не достигает нуля. Это чревато тем, что алгоритм на каждой итерации будет иметь высокую вероятность принятия худшего решения и, как следствие, постоянно возвращаться назад на плохие решения.

Таким образом, при такой скорости убывания температуры, алгоритм может не сойтись к оптимальному решению задачи за определенное число итераций или потребовать очень много итераций для успешного завершения работы.

График зависимости вероятности принятия худшего решения Больцмановского отжига от итерации:

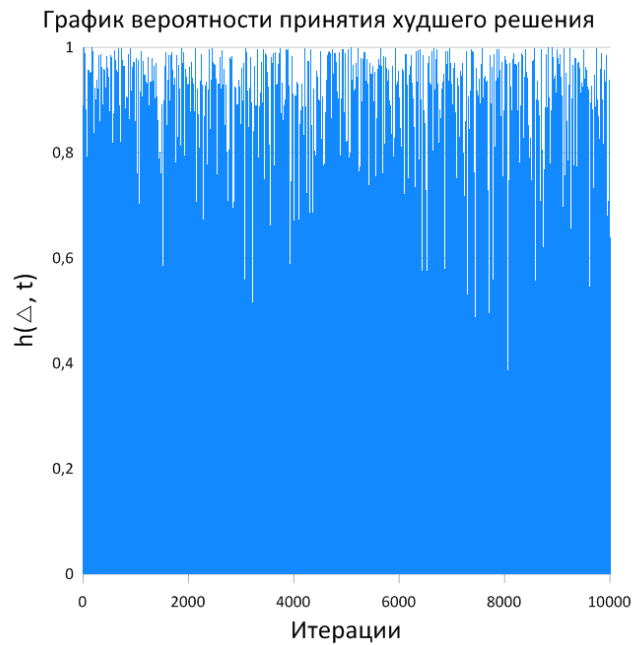


Рисунок 15 - График вероятности принятия худшего решения для
Больцмановского отжига

График зависимости температуры Больцмановского отжига от итерации:

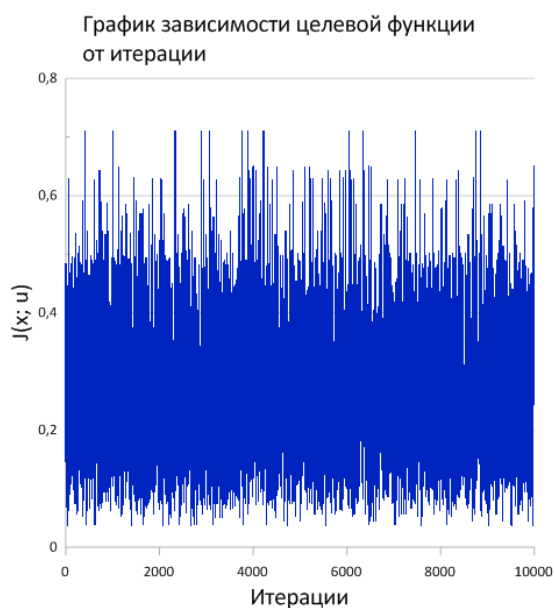


Рисунок 16 - График зависимости целевой функции от итерации для
Больцмановского отжига

Как видно из графика, алгоритм Больцмановского отжига с начальной температурой $t_{max} = 100$ и конечной температурой $t_{min} = 0,1$ не сошелся к решению задачи из-за низкой скорости убывания температуры.

2.5.2 Применение быстрого отжига для решения задачи минимизации:

Быстрый(*fast – annealing*) отжиг характеризуется следующим законом изменения температуры:

$$T(k) = T_{max}e^{-Ck}, \text{ где константа } C > 0.$$

Для быстрого отжига функция $g_s(u)$ моделировалась следующим образом:

Случайным образом выбирался параметр $s = \{0,1,2,3,4,5\}$, принимающий значения от 1 до 5. Далее компонента u_s решения $u = [u_0, \dots, u_5]$ заменялась на другую, отличную от нее. Таким образом, $g_s(u)$ осуществляет переход от решения u на близкое к нему решение \tilde{u} :

$$g_s(u) = \tilde{u}$$

Ниже приведены результаты моделирования быстрого отжига с начальной температурой $t_{max} = 10000$ и конечной температурой $t_{min} = 0,001$.

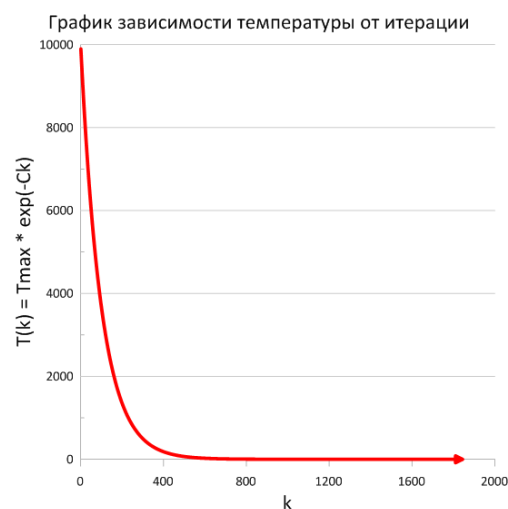


Рисунок 17 - График изменения температуры экспоненциального отжига.

$T(k)$ является убывающей функцией.

В отличие от температуры Больцмановского отжига, температура быстрого отжига достигает нуля уже после 400 – й итерации. Также у алгоритма есть возможность «побегать» по решениям из множества допустимых решений.

График зависимости вероятности принятия худшего решения быстрого отжига от итерации:

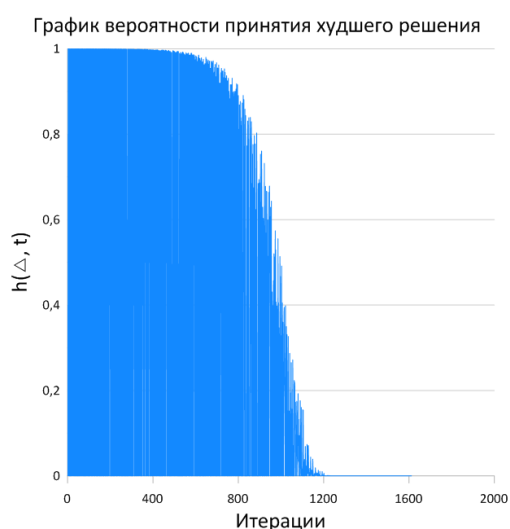


Рисунок 18 - График вероятности принятия худшего решения для экспоненциального отжига

Как видно из графика выше, алгоритм после 1000 – й итерации будет двигаться только в сторону лучшего решения.

График зависимости температуры Быстрого отжига от итерации:

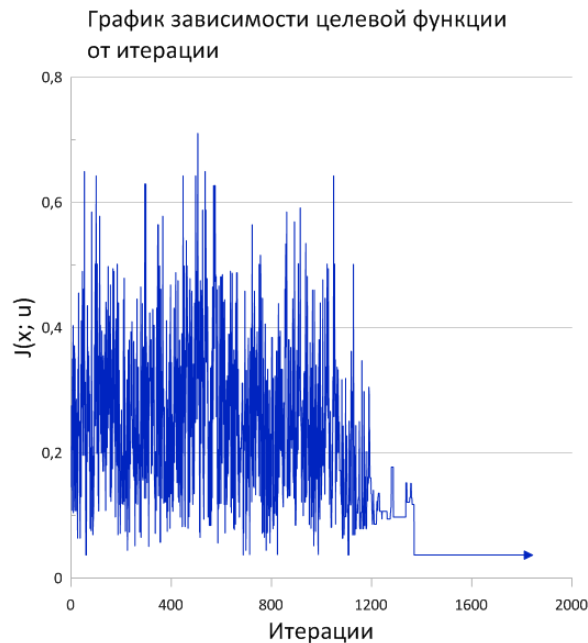


Рисунок 19 - График зависимости целевой функции от итерации для экспоненциального отжига

Видно, что алгоритм быстрого отжига с начальной температурой $t_{max} = 10000$ и конечной температурой $t_{min} = 0,001$ сошелся к оптимальному решению задачи.

2.5.3 Применение отжига Коши для решения задачи минимизации:

Отжиг Коши характеризуется следующим законом изменения температуры:

$$T(k) = \frac{T_{max}}{k}$$

Для отжига Коши функция формирования нового решения выглядит следующим образом:

$$g_s(u) = u + t_k * C(0; 1), \text{ где } C - \text{распределение Коши.}$$

Распределение C моделировалась следующим образом:

Бралась равномерно распределенная случайная величина γ_i на отрезке $[0; 1]$.

Для того чтобы получить требуемое распределение, необходимо вычислить следующую величину:

$$tg\left(\pi\gamma_i - \frac{\pi}{2}\right)$$

Ниже приведены результаты моделирования отжига Коши с начальной температурой $t_{max} = 1000$ и конечной температурой $t_{min} = 0,1$.

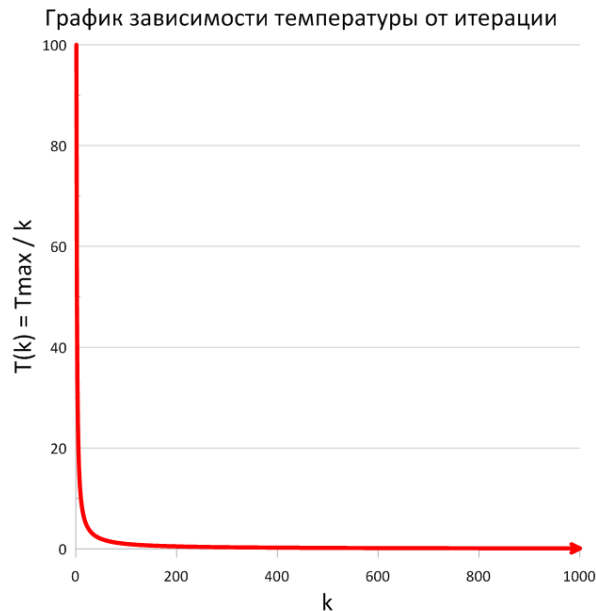


Рисунок 20 - График изменения температуры отжига Коши.

$T(k)$ является убывающей функцией. Как видно, температура убывает быстрее, чем функции температур в предыдущих рассматриваемых случаях и достигает нуля.

График зависимости вероятности принятия худшего решения отжига Коши от итерации:

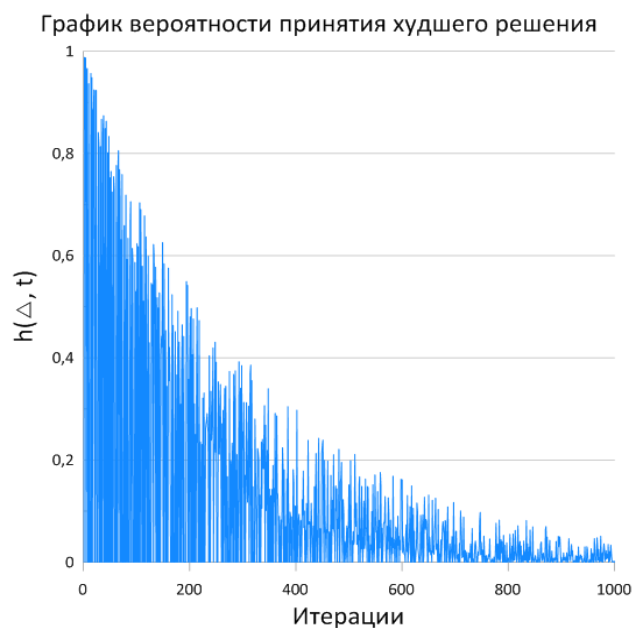


Рисунок 21 - График вероятности принятия худшего решения для отжига Коши

График зависимости температуры отжига Коши от итерации:

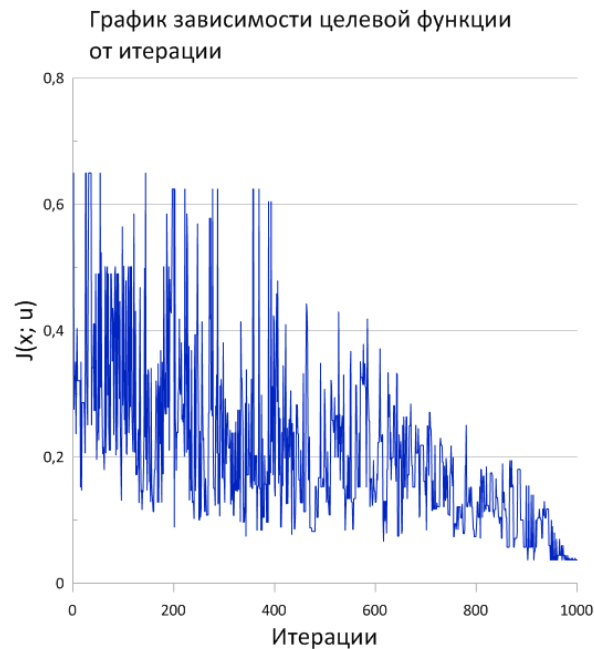


Рисунок 22 - График зависимости целевой функции от итерации для отжига Коши

Видно, отжиг Коши с начальной температурой $t_{max} = 1000$ и конечной температурой $t_{min} = 0,1$ сошелся к оптимальному решению задачи быстрее быстрого отжига. Таким образом, отжиг Коши показал себя лучше, чем другие рассматриваемые виды отжигов относительно решаемой задачи.

После анализа различных вариантов алгоритма для решения данной задачи выбраны следующие параметры:

Начальная максимальная температура $T = 1000$;

Минимальная температура (условие останова) $T_{min} = 0,1$;

Начальное приближение $x_0 = [0,0]$;

Вид отжига – отжиг Коши.

2.5.2 Результат исследования

Проведем серию из 100 испытаний алгоритма имитации отжига с целью нахождения глобального минимума функции Швепеля и выведем их на контурном графике:

Рассмотрим полученные результаты на контурном графике:

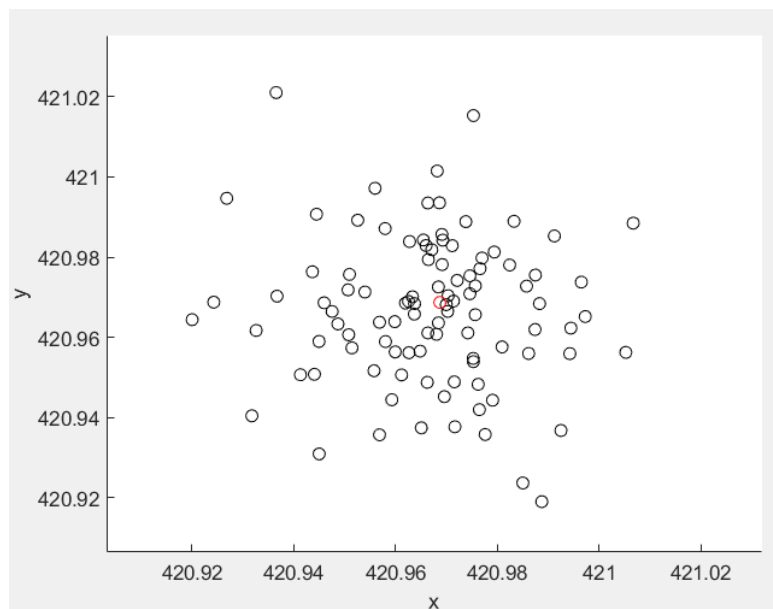


Рисунок 23 - Разброс найденных решений алгоритмом имитации отжига

Эталонное значение отмечено на графике 23 красной точкой и находится в координате $\min = [420.9687, 420.9687]$.

Найденные алгоритмом решения лежат в диапазоне $x \in [420,9268, 420,9874]$ и $y \in [420,9357 - 421,021]$.

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение для каждого найденного решения по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_1 - y_2)^2}{n}}$$

где y_1 – найденное алгоритмом решение, y_2 – эталонное значение

Усредним результаты и получим значение $\sigma = 6.8705e-08$.

3 Оценка полученных результатов

Для оценки эффективности методов обычно используются две характеристики:

- время, затраченное на получение решения;
- точность решения;

Таблица 2. Полученные результаты

Метод	Полученные значения			Время работы, с
	x	y	f(x)	
Генетический алгоритм	421,079871	420,799915	-837,9606197	25
Пчелиный рой	420,8715755	421,217708	-837,9567612	22
Алгоритм имитации отжига	420,971069	420,965824	-837,965772	30
Эталонное значение				
	420.9687	420.9687	- 837.9658	

Проанализируем полученные значения и время, затраченное ПЭВМ. Результат, полученный алгоритмом имитации отжига, ближе всего к эталонному значению. Но и времени он занимает больше всех, то есть данный алгоритм более ресурсозатратный.

Для анализа точности алгоритмов вычислим погрешность вычислений в виде среднеквадратического отклонения.

Среднеквадратическое отклонение (MSE) - наиболее распространённый показатель рассеивания значений выборки относительно её математического ожидания:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_1 - y_2)^2}{n}}$$

где y_1 – найденное алгоритмом решение, y_2 – эталонное значение

Для наиболее точного результата рассчитаем среднеквадратическое отклонение значений x , y и $f(x)$ усредненное по 100 запускам. Данные занесем в таблицу 3.

Таблица 3. Среднеквадратическое отклонение

		Алгоритм пчелиной колонии	Генетический алгоритм	Алгоритм имитации отжига
Среднеквадратическое отклонение	x	0.00080699	0.0008291	2.0849e-05
	y	0.00074196	0.0007871	2.1183e-05
	$f(x)$	6.5084e-05	9.3249e-05	6.8705e-08

Проанализировав данные, приведённые в таблицах, можно сделать выводы:

Наименьшую среднеквадратическую ошибку показал алгоритм имитации отжига. Соответственно, можно сказать, что в условиях задачи минимизации многоэкстремальной функции данный алгоритм справился лучше всего. Это обусловлено успешным избеганием «ловушек» локальных минимумов с помощью вероятности принятия худшего решения, а также большим количеством итераций.

Меньше всего затрат времени на поиск решения требует алгоритм пчелиной колонии. Объясняется это тем, что правильная настройка одного из параметров – коэффициента ускорения, позволяет алгоритму быстрее сходиться к решению. Но точность результата является недостаточно высокой относительно других методов.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Осуществляя любую научно-исследовательскую работу, необходимо провести ее экономическое обоснование.

Целью экономического обоснования разработки является количественное и качественное доказательство экономической целесообразности усовершенствования программы, а также определение организационно-экономических условий ее эффективного функционирования.

Эффективность программного модуля определяется его качеством и эффективностью процесса разработки и сопровождения. Качество программного изделия определяется тремя составляющими:

- с точки зрения специалиста-пользователя данного программного продукта;
- с позиции использования ресурсов и их оценки;
- по выполнению требований на программное изделие.

Программное изделие должно быть разработано так, чтобы оно выполняло свои функции без лишних затрат ресурсов (оперативной памяти ЭВМ, машинного времени, пропускной способности каналов передачи данных и др. – на стадии функционирования; время разработки и денежных ресурсов – на стадии использования программного изделия).

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассмотрены следующие вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно – исследовательской работы;
- расчёт бюджета научно – технического исследования.

Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Описание целевой аудитории разрабатываемой системы

В первую очередь необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар.

Потенциальными потребителями результатов исследования являются отрасли, в которых применимы оптимизационные методы: в исследовании операций и системном анализе, планировании производственной деятельности, проектировании различных объектов, управлении динамическими системами и т. д.

Анализ конкурентных технических решений

Рынок постоянно меняется, поэтому периодически необходимо проводить детальный анализ конкурирующих разработок. Данный анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.

Таблица 4. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентно- способность		
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Интерфейс пользователя	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
2. Сопроводительная документация	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,35
3. Совместимость с другими программами	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
4. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
5. Возможность настройки программы по определенным параметрам	0,5	4	4	5	0,25	0,2	0,25
6. Аппаратная независимость, открытость системы	0,06	3	3	2	0,18	0,12	0,12
7. Язык написания, сложность сопровождения	0,1	4	4	5	0,5	0,4	0,5
8. Степень соответствия современным требованиям в области использования	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
9.Конкурентоспособность разработки	0,1	5	5	5	0,5	0,5	
10. Цена	0,08	4	4	4	0,4	0,32	
11. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	
12. Финансирование научной разработки	0,1	3	3	4	0,4	0,3	
Итого	1				4,68	4,09	

На основе анализа оценки конкурентоспособности можно сказать, что технические и экономические показатели оценки ресурсоэффективности данной разработки опережают показатели конкурентов.

Технология QuaD

Технология QuaD (QQuality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в разработку. По своему

содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений, рассмотренных в таблице 5.

Таблица 5. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Макс. балл	Относит. значение (3/4)	Средне-взвеш. значение (5x2)
Показатели оценки качества разработки					
1. Интерфейс пользователя	0,1	80	100	0,8	0,08
2. Сопроводительная документация	0,07	70	100	0,7	0,049
3. Совместимость с другими программами	0,04	90	100	0,9	0,036
4. Удобство в эксплуатации	0,1	100	100	1	0,1
5. Возможность настройки программы по определенным параметрам	0,05	90	100	0,9	0,045
6. Аппаратная независимость, открытость системы	0,06	90	100	0,9	0,054
7. Язык написания, сложность сопровождения	0,1	90	100	0,9	0,09
8. Степень соответствия современным требованиям в области использования	0,2	100	100	1	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
9. Конкурентоспособность разработки	0,1	100	100	1	0,1
10. Цена	0,08	80	100	0,8	0,064
12. Финансирование научной разработки	0,1	80	100	0,8	0,08
Итого	1		100		0,898

Полученное средневзвешенное значение показателя качества и перспективности разработки составляет 89,8% и позволяет считать ее перспективной, так как значение принадлежит промежутку от 80 до 100%.

SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В таблице 6 представлена матрица SWOT-анализа работы.

Таблица 6. SWOT-анализ

Сильные стороны научно - исследовательского проекта: С1: Работа реализована в математических пакетах Matlab. С2: Нулевые денежные затраты на разработку. С3: Высокая точность и достоверность результатов. С4: Разработка эффективных методов поиска наилучшего решения.	Слабые стороны научно - исследовательского проекта: Сл1: Небольшой объем исходных данных. Сл2: необходимо наличие ПО для обработки данных. Сл3. Пользователь не может сам добавлять нужные ему нововведения.
Возможности: В1. Доработка в связи с пожеланиями. В2. Возможность продать разработку. В3. Возможность интегрировать с другими системами.	Угрозы: У1. Отсутствие спроса на доработку. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Простота разработки может быстро привлечь конкурентов. У4. Падение спроса из-за роста требований к ЭВМ пользователя.

Планирование и формирование бюджета научного исследования

Определение организационной структуры проекта, трудоемкости выполнения работы

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Вся деятельность в рамках научного исследования представляет собой комплекс этапов и работ, перечень которых, с указанием исполнителей, представлен в таблице 3.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Для выполнения научного исследования была сформирована рабочая группа, в состав которой входят 1 студент и один научный руководитель.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ, приведенный в таблице 7.

Таблица 7. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Исполнитель
Подготовительный этап	1	Выбор темы ВКР	студент научный руководитель
	2	Получение ТЗ	студент научный руководитель
	3	Подбор материала, его анализ и обобщение	студент научный руководитель
	4	Выбор методов выполнения работы	студент
	5	Календарное планирование работ по теме	научный руководитель студент
Основной этап	6	Разработка, отладка проекта на ЭВМ	студент
	7	Тестирование	студент студент
	8	Доработка проекта, устранение выявленных ошибок	студент
Заключительный этап	9	Составление отчета о проделанной работе и оценка эффективности полученных результатов	научный руководитель студент

	10	Защита дипломного проекта	студент
--	----	---------------------------	---------

Разработка календарного плана выполнения проекта

Временные показатели проведения научного исследования – трудоемкость и длительность, перечисленных выше работ указана в таблице 8.

Таблица 8. Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Продолжительность работ, дни			Исполнители	Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					Т _{рд}		Т _{кд}	
	t _{min} , чел-дни	t _{max} , чел-дни	T _{ожі} челдни		НР	С	НР	С
1	2	6	3,6	С, НР	1,8	1,8	2	2
2	4	6	4,8	С, НР	2,4	2,4	3	3
3	12	20	15,2	С	0	15,2	0	18
4	12	19	14,8	С	0	14,8	0	18
5	5	8	6,2	НР, С	3,1	3,1	4	4
6	11	18	13,8	С	0	13,8	0	17
7	29	33	30,6	С	0	30,6	0	37
8	10	12	10,8	С	0	10,8	0	13
9	12	15	13,2	НР, С	6,6	6,6	8	8
10	1	1	1	С	0	1	0	1
Итого			114		13,9	100,1	17	120

На основе полученных данных строится Диаграмма Ганта, которая наглядно отображает:

- Оптимальные сроки начала и окончания выполнения работ
- Какие задачи включает в себя проект
- Продолжительность задач: когда они начинаются и заканчиваются
- Сколько времени займет каждая задача
- Кто работает над каждой конкретной задачей

Результат представлен в таблице 9.

Таблица 9. Диаграмма Ганта

№	Вид работ	НР	С	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор темы ВКР	2	2	■											
2	Получение ТЗ	3	3	■	■										
3	Подбор материала, его анализ и обобщение	0	18		■	■	■								
4	Выбор методов выполнения работы	0	18				■	■	■						
5	Календарное планирование работ по теме	4	4					■	■						
6	Разработка, отладка проекта на ЭВМ	0	17							■	■	■			
7	Тестирование	0	37									■	■	■	
8	Доработка проекта, устранение выявленных ошибок	0	13											■	■
9	Составление отчета о проделанной работе и оценка эффективности полученных результатов	8	8												■
10	Защита дипломного проекта	0	1												■

■ – студент, ■ – научный руководитель

Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

При формировании бюджета на выполнение НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей разработки;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на научные и производственные командировки;

Далее приведены расчеты затрат по каждой статье.

Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья учитывает расходы на все материальные ресурсы, используемые при реализации научно-технического исследования. Результаты расчета материальных затрат представлены в таблице 10.

Таблица 10. Расчет затрат на специальное оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб			Затраты на материалы, руб		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Компьютер	шт.	1	1	1	41300	42500	41999	82600	85000	83998
Итого								82600	85000	83999

Наиболее дорогими являются материальные ресурсы, используемые во второй версии реализации научно-технического исследования; наиболее дешевыми – в первой версии реализации научно-технического исследования

В ходе выполнения научно-исследовательской работы использовалось оборудование, имеющееся лично у студента. Далее приведены расчеты амортизации используемого оборудования за время работы.

Срок полезного использования для офисных машин (код 330.28.23.23) составляет 3 года, ПК был использован на протяжении 4 месяцев, его цена составляет 75000 рублей.

Норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{3} * 100\% = 33,33\%$$

1) Амортизационные отчисления (Исполнение 1):

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_r = 82600 * 0,33 = 27\,258$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{27\,258}{12} = 2\,271,5$$

Итоговая сумма амортизации (Исполнение 1) основных средств:

$$A = 2\,271,5 * 4 = 9\,086$$

2) Амортизационные отчисления (Исполнение 2):

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_r = 85000 * 0,33 = 28\,050$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{28\,050}{12} = 2\,337,5$$

Итоговая сумма амортизации (Исполнение 2) основных средств:

$$A = 2\,337,5 * 4 = 9\,350$$

3) Амортизационные отчисления (Исполнение 3):

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_r = 83999 * 0,33 = 27\,719,67$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{27\,719,67}{12} = 2\,309,97$$

Итоговая сумма амортизации (Исполнение 3) основных средств:

$$A = 2\,309,97 * 4 = 9\,239,9$$

Итоговый расчет затрат на амортизацию представлен в таблице 11.

Таблица 11. Расчет амортизационных отчислений

Наименование	Амортизация, руб
Исполнение 1	9 086
Исполнение 2	9 350
Исполнение 3	9 239,9

Основная заработная плата исполнителей темы

Данный раздел учитывает расходы на основную заработную плату исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении НТИ, – руководителя и выпускника, т.е. разработчика.

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зп} = \frac{D + D * K}{F},$$

D - месячный оклад работника;

K - районный коэффициент (для Томска – 30%);

F– количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Таблица 12. Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб/дн.	Трудоемкость, рабочие дни			Основная заработная плата, руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	23264,86	1374,74	18	21	21	24745,32	28869,54	28869,54
Разработчик	6976,22	412,23	61	73	69	25146,03	30092,79	28443,87
Итого						49891,35	59162,33	57313,41

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} ,$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

Расчёт дополнительной заработной платы приведён в таблице 9.

Таблица 13. Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			$K_{\text{доп}}$	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	24745,32	28869,54	28869,54	0,15	3711,80	4330,43	4330,43
Разработчик	25146,03	30092,79	28443,87	0,15	3771,90	4513,92	4266,58
Итого					7483,70	8844,35	8597,01

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной части представлены расчеты отчислений во внебюджетные фонды. Т.е. в данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ)

и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Отчисления во внебюджетные фонды представлены таблице 14.

Таблица 14. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	24745,32	28869,54	28869,54	3711,80	4330,43	4330,43
Разработчик	25146,03	30092,79	28443,87	3771,90	4513,92	4266,58
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,28					
Итого						
Исполнение 1	16065,01					
Исполнение 2	18985,87					
Исполнение 3	18454,92					

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей 1 – 5}) * K_{\text{нр}} ,$$

где $K_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, взят в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} (\text{Исполнение 1}) = 0,16 * (82600 + 452,60 + 49891,35 + 4783,70 + 16065,01) = 24\,606,82 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{накл}} (\text{Исполнение 2}) = 0,16 * (85000 + 465,75 + 59162,33 + 8844,35 + 18985,87) = 27\,593,33 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{накл}} (\text{Исполнение 3}) = 0,16 * (83\,998 + 460,26 + 57\,313,41 + 8\,597,01 + 18454,92) = 24\,058,99 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат дипломной работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Материальные затраты НТИ	82600	85000	83998
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	452,60	465,75	460,26
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49989,35	59162,33	57313,41
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7483,70	8844,5	8597,01
Отчисления во внебюджетные фонды	16065,01	18985,87	18454,92
Накладные расходы	24606,82	27593, 33	24 058, 99
Бюджет затрат НТИ	230689	258687	253235

Согласно полученным результатам, можно сделать вывод, что самый большой бюджет требуется для реализации второго варианта. Самый минимальный бюджет необходим, для реализации первого варианта.

Расчет интегральных показателей эффективности исследования, выбор наилучшего исполнения.

Интегральный показатель финансовой эффективности определяется по формуле:

$$I_{i\phi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где $I_{i\phi}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i * b_i ,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 16.

Таблица 16. Оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Интерфейс пользователя	0,15	5	3	5
Сопроводительная документация	0,1	5	5	5
Совместимость с другими параметрами	0,05	5	5	4
Простота ввода в эксплуатацию	0,2	4	4	4
Возможность настройки программы по определенным параметрам	0,05	5	4	5
Аппаратная независимость, открытость системы	0,1	3	2	2
Язык написания, сложность сопровождения	0,2	5	4	5
Степень соответствия современным требованиям в области использования	0,15	5	5	5
Итого	1	4,60	3,35	4,45

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испи}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финi} = \frac{I_{pi}}{I_{iф}} ,$$

Интегральный финансовый показатель разработки (Исполнение 1) = $230689 / 258687 = 0,89$;

Интегральный финансовый показатель разработки (Исполнение 2) = $258687 / 258687 = 1$;

Интегральный финансовый показатель разработки (Исполнение 3) = $253235 / 258687 = 0,98$; 59

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{эфи}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{эфи} = \frac{I_{финi}}{I_{иф}}$$

Интегральный показатель эффективности (Исполнение 1) = $4,60 / 0,89 = 5,17$;

Интегральный показатель эффективности (Исполнение 2) = $3,35 / 1 = 3,35$;

Интегральный показатель эффективности (Исполнение 3) = $4,45 / 0,98 = 4,55$;

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$) определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{эф1}}{I_{эф2}}$$

Далее представлены расчёты показателя сравнительная эффективность проекта для каждого из исполнений относительно Исполнения 1. Сравнительная эффективность проекта (Исполнение 1) = $5,17 / 4,60 = 1,12$; Сравнительная эффективность проекта (Исполнение 2) = $3,35 / 4,60 = 0,73$; Сравнительная эффективность проекта (Исполнение 3) = $4,55 / 4,60 = 0,99$; Сравнительная эффективность проекта представлена в таблице 17.

Таблица 17. Сравнительная эффективность разработки.

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,89	1	0,98

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,60	3,35	4,45
3	Интегральный показатель эффективности	5,17	3,35	4,55
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,12	0,73	0,99

Выводы по разделу: сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило выбрать наиболее эффективный вариант решения проекта. С позиций технической и финансовой ресурсоэффективности мы можем сделать выводы о том, что научно – техническое решение, представленное первым исполнителем, является более предпочтительным.

5 Социальная ответственность

Работа посвящена разработке программного обеспечения для анализа и сравнения эвристических алгоритмов при решении определенных задач оптимизации. Потенциальными потребителями результатов исследования являются отрасли, в которых применимы оптимизационные методы: в исследовании операций и системном анализе, планировании производственной деятельности, проектировании различных объектов, управлении динамическими системами и т. д.

В качестве рабочего оборудования выступает ПЭВМ. С каждым годом электронно-вычислительные машины (ЭВМ) находят все большее применение как на производстве, так и для научно-исследовательских и конструкторских работ, а также в сфере управления и образования. Компьютеры уже завоевали свое место на предприятиях, в организациях, офисах и даже в домашних условиях. Однако компьютер является источником вредного воздействия на организм человека, а, следовательно, и источником профессиональных заболеваний. Это предъявляет к каждому пользователю персонального компьютера требование – знать о вредном воздействии ПЭВМ на организм человека и необходимых мерах защиты от этих воздействий.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место при работе с ПК должно составлять не менее чем 6 кв. м. Разработка программного обеспечения для анализа и сравнения эвристических алгоритмов производилась в комнате общежития №14 общей площадью 18 кв.м, по 4,5 кв.м на одного оператора ЭВМ, что допустимо лишь при использовании плоских дискретных экранов ПК (в данном случае так и есть). Пространство для ног должно соответствовать следующим параметрам: высота пространства для ног не менее 600 мм, расстояние сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150мм, а высота сиденья 420 мм.

Стоит заметить, что высота стола должна зависеть от роста оператора, однако, это не учтено в данном случае (все столы, принадлежащие общежитию одинаковой высоты).

Так же предусмотрены следующие требования к организации рабочего места пользователя ПЭВМ:

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию [5].

В данном случае так же очевидно несоответствие нормам, так как в этом помещении обычные стулья, без регулировки по высоте.

Производственная безопасность

Производственная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на рабочих опасных производственных факторов до приемлемого уровня. Для определения опасных факторов на металлообрабатывающем производстве по производству колес зубчатых воспользуемся классификацией опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003- 2015. Проанализировав опасные и вредные факторы на данном производстве, представим в виде таблицы 18.

Таблица 18. Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Электромагнитные поля	+	+	+	Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации СанПиН 2.2.2.542-96
2. Превышение уровня шума	-	+	+	Уровень шума на рабочих местах СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [2]
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548–96 [1]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	-	+	+	Естественное и искусственное освещение. СП 52.13330.2016 [3]
5. Психофизиологические факторы	+	+	+	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197
6. Электробезопасность	+	+	+	Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов ГОСТ 12.1.038-82 [4].

Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Вредным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности. При изменении уровня и времени воздействия вредные производственные факторы могут стать опасными. Опасными

считаются производственные факторы, воздействие которых на работающего в конкретных условиях может привести к травмам, а также другим внезапным резким ухудшениям здоровья. При работе с ПЭВМ пользователь (оператор, программист) подвергается воздействию опасных и вредных производственных факторов:

1. электромагнитные поля;
2. шум и вибрации;
3. микроклимат в помещении;
4. освещенность рабочей зоны;
5. психофизиологические факторы;
6. электробезопасность.

Эти факторы могут привести к ухудшению здоровья пользователя, а также к профессиональным заболеваниям. Кроме того, вынужденная неудобная рабочая поза (в большинстве случаев в ограниченном пространстве), длительное сосредоточенное наблюдение, из которого 20% приходится на непосредственное наблюдение за экраном ВДТ, вызывают повышенное напряжение мышц зрительного аппарата, а в комплексе с неблагоприятными производственными факторами обуславливают развитие общего утомления и снижение работоспособности.

Характеристика помещения, где была разработана бакалаврская работа: ширина комнаты составляет $b = 4$ м, длина $a = 6$ м, высота $H = 2,8$ м. Тогда площадь помещения будет составлять $S = ab = 24$ м², объем $V = abh = 72$ м³. В помещении имеется окно, через которое осуществляется вентиляция помещения. В помещении отсутствует принудительная вентиляция, т.е. воздух поступает и удаляется через дверь и окно, вентиляция является естественной. В зимнее время помещение отапливается, что обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещении используется комбинированное освещение - искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛБ.

Рабочая поверхность имеет высоту 0,75 м. Конструкция стола соответствует нормам СН 245-78. Стол оборудуется специальными ящиками с необходимыми для работы предметами. Электроснабжение сети переменного напряжения 220 В. Помещение без повышенной опасности в отношении поражения человека электрическим током по ГОСТ 12.1.013-78.

Общие требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ даны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Все параметры рабочего стола удовлетворяют нормативным требованиям.

Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температур воздуха и поверхностей, относительной влажности воздуха, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения.

Нормы оптимальных и допустимых показателей микроклимата при работе с ЭВМ устанавливает СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа, производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением, относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт). Для данной категории допустимые нормы микроклимата представлены в таблице 19.

Таблица 19. Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Фактич.	Доп.	Фактич.	Доп.	Фактич.	Доп.
Холодный	Легкая Ia	22-24	19-24	55	<75	0,1	≤0,1
Теплый		23-25	20-28	55	<60	0,1	≤0,2

Анализируя таблицу 3, можно сделать вывод, что в рассматриваемом помещении параметры микроклимата соответствуют нормам СанПиН. Допустимый уровень микроклимата помещения обеспечивается системой водяного центрального отопления и естественной вентиляцией.

Освещенность рабочей зоны

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

По нормативу [5] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°.

Коэффициент запаса (K_z) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%

Электромагнитное поле

ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека, что может повлечь следующие последствия: биохимические изменения в клетках и тканях; нарушения условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности мозга, изменения межнейронных связей, отклонения в эндокринной системе; вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию может наблюдаться повышение температуры тела, локальный избирательный нагрев тканей и так далее.

Согласно СанПиН 2.2.2.542-96:

1. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5-2000 Гц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2/400 кГц - 2,5 В/м.

2. Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5-2000 Гц - 250нТл; • в диапазоне частот 2/400 кГц - 25нТл.

Производственный шум

При выполнении работ, описанных выше, специалист может оказаться под шумовым воздействием со стороны оборудования, находящегося в рабочем помещении: ПК, печатающие устройства, оборудование поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция) и пр.

Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, следовательно, согласно ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Общие требования безопасности» эквивалентный уровень шума в рабочем помещении не должен превышать 50 дБА. Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Уровень шума на рабочем месте математиков-программистов и операторов видеоматериалов не должен превышать 50 дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65 дБА.

Вибрация оборудования на рабочих местах не должна превышать допустимых величин, установленных ГОСТ 12.1.012-96.

Для снижения уровня шума, производимого персональными компьютерами, рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применяются звукопоглощающие материалы. Также для борьбы с шумом необходимо использовать индивидуальные средства защиты: беруши и противοшумные наушники.

Психофизиологические факторы

Значительное умственное напряжение и другие нагрузки приводят к переутомлению функционального состояния центральной нервной системы, нервно-мышечного аппарата рук. Нерациональное расположение элементов рабочего места вызывает необходимость поддержания вынужденной рабочей позы. Длительный дискомфорт вызывает повышенное позвоночное напряжение мышц и обуславливает развитие общего утомления и снижение работоспособности.

При длительной работе за экраном дисплея появляется выраженное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворительность работы, головные боли, усталость и болезненное ощущение в глазах, в пояснице, в области шеи, руках.

Режим труда и отдыха работника: при вводе данных, редактировании программ, чтении информации с экрана непрерывная продолжительность работы не должна превышать 4-х часов при 8-часовом рабочем дне. Через каждый час работы необходимо делать перерыв на 5-10 минут, а через два часа на 15 минут.

Поражение электрическим током

Выбор и обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;

Токи статического электричества, наведённые в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока, клавиатуры, а также при работе за паяльной станцией, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам.

Категории помещения по степени опасности поражения электрическим током подразделены на следующие три класса:

I. Помещения без повышенной опасности: сухие, с нормальной температурой воздуха, с токонепроводящими полами.

II. Помещения с повышенной опасностью: сырые с относительной влажностью воздуха (длительной) более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними.

III. Помещения особо опасные: особо сырые с относительной влажностью воздуха, близкой к 100%, химически активной средой, одновременным наличием двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Комната общежития относится к первой категории. Помещение сухое, с нормальной температурой воздуха, с токонепроводящими полами.

Требования к электрооборудованию

На рабочем месте пользователя размещены дисплей, клавиатура и системный блок. Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра [6].

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 при работе за ПК допускаются уровни напряжений прикосновения и токов, представленные в таблице 20.

Таблица 20.

Род тока	Напряжение прикосновения, В	Ток, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

Анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям

Все требования к электрооборудованию удовлетворены. Все части ПЭВМ в целостности, соблюдены нормы напряжений прикосновения и токов, видимые повреждения аппаратуры и рабочей мебели отсутствуют.

Мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий

Дополнительные меры защиты от воздействия статического электричества:

- влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах офиса;
- использование увлажнителей воздуха;
- защитное заземление;
- применение средств индивидуальной защиты, таких как антистатические спреи и браслеты.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Для минимизации вредных воздействий на организм в процессе использования ПО необходимо принять следующие меры:

1. Обеспечение чистоты воздуха в производственном помещении достигается удалением загрязненного или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха, т.е. вентиляцией. Для благоприятного микроклимата рабочие участки необходимо оснастить кондиционерным оборудованием.

2. Для борьбы с шумом необходимо использовать индивидуальные средства защиты. К индивидуальным средствам относятся: беруши и противοшумные наушники.

3. Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям СП 52.13330.2016. Величина коэффициента естественного освещения (КЕО) для различных помещений лежит в пределах от 0,1 до 12%. Для местного освещения используют светильники, устанавливаемые на

металлорежущих станках, и отрегулированы так, чтобы освещённость была не ниже значений, установленных санитарными нормами. Так как освещённость, создаваемая естественным светом, изменяется в зависимости от времени дня, года, метеорологических факторов, то для поддержания постоянного уровня освещённости необходимо применять комбинированное освещение – естественное и искусственное. Искусственное общее освещение – лампы накаливания необходимо располагать в верхней зоне помещения и непосредственной близости рабочей зоны.

5. С целью снижения или устранения нервно-психологического, зрительного и мышечного напряжения, предупреждение переутомления необходимо проводить комплекс физических упражнений и сеансы психофизической разгрузки и снятия усталости во время регламентируемых перерывов, и после окончания рабочего дня.

6. Меры защиты от опасности поражения электрическим током:

- электрическая изоляция токоведущих частей (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм);
- использование малых напряжений, например, не более 50 В;
- электрическое разделение сетей на отдельные короткие участки;
- защитное заземление и зануление;

Допустимый ток частотой 50 Гц при длительности воздействия более 10 секунд составляет 2 мА, а при длительности 10 секунд и менее – 6 мА. Для 68 переменного тока эта величина соответственно равна 10 и 15 мА.

Экологическая безопасность

Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема. Наиболее активная форма её решения — это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Разработанный программный продукт не наносит вреда окружающей среде ни на стадиях его разработки, ни на стадиях эксплуатации. Однако, средства, необходимые для его разработки и эксплуатации могут наносить вред окружающей среде.

Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

Основными отходами являются черновики бумаги и отработавшие люминесцентные лампы. Также негативное воздействие на экологию оказывают факторы, связанные с производством и эксплуатацией компьютерной техники. Так, например, аккумуляторные батареи компьютеров содержат в себе различные щелочи и кислоты, которые наносят вред окружающей среде, если они были неправильно утилизированы.

С точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии в целом.

Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для обеспечения минимального вреда окружающей среде необходимо отправлять на утилизацию все средства, необходимые для разработки и эксплуатации ПЭВМ, которые могут наносить вред окружающей среде.

На утилизацию направляют бумагу, люминесцентные лампы, а также аккумуляторные батареи.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наиболее характерной для объекта, где размещаются рабочие помещения, оборудованные ПЭВМ, чрезвычайной ситуацией является пожар. Причинами возникновения данного вида ЧС могут являться:

- возникновением короткого замыкания в электропроводке;

- возгоранием устройств ПЭВМ из-за неисправности аппаратуры;
- возгоранием устройств искусственного освещения;
- возгоранием мебели по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок

Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований

Так как внедрение объекта исследования заключается в использовании ПЭВМ в качестве инструмента решения различных задач оптимизации, наиболее характерной чрезвычайной ситуацией также является пожар.

Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. Всякий работник при обнаружении пожара должен:

- Незамедлительно сообщить об этом в пожарную охрану;
- Принять меры по эвакуации людей, каких-либо материальных ценностей согласно плану эвакуации;
- Отключить электроэнергию, приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

При возникновении пожара должна сработать система пожаротушения, передав на пункт пожарной станции сигнал о ЧС. В случае если система не сработала, то необходимо самостоятельно произвести вызов пожарной службы по телефону 101, сообщить точный адрес места возникновения ЧС и ожидать приезда специалистов.

Выводы и рекомендации

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где была разработана бакалаврская работа, можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет необходимым нормам и в случае соблюдения техники

безопасности и правил пользования компьютером работа в данном помещении не приведет к ухудшению здоровья работника.

Само помещение и рабочее место в нем удовлетворяет всем нормативным требованиям. Кроме того, действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму, т.е. микроклимат, освещение и электробезопасность соответствуют требованиям, предъявленным в соответствующих нормативных документах. Относительно рассмотренного вопроса об экологической безопасности можно сказать, что деятельность помещения не представляет опасности окружающей среде. Важно добавить, что монитор компьютера служит источником ЭМП – вредного фактора, который отрицательно влияет на здоровье работника при продолжительной непрерывной работе и приводит к снижению работоспособности. Поэтому во избежание негативного влияния на здоровье необходимо делать перерывы при работе с ЭВМ и проводить специализированные комплексы упражнений для глаз.

Заключение

Для нахождения наилучшего решения были рассмотрены эвристические алгоритмы, среди них: различные реализации генетического алгоритма, алгоритмы имитации отжига, а также алгоритм пчелиной колонии

При реализации алгоритмов с целью получения наилучших результатов (по точности и скорости) осуществлена тонкая настройка гиперпараметров:

- генетический алгоритм – подобраны способы селекции, скрещивания и установлен оптимальный размер популяции.
- алгоритмы отжига (Больцмановский отжиг, отжиг Коши и быстрый отжиг) – для каждого алгоритма подобраны начальная и конечная температуры.
- алгоритм пчелиной колонии – отрегулирован параметр, отвечающий за быстроту схождения алгоритма к минимуму.

Проанализировав работу алгоритмов, можно заключить, что алгоритм пчелиной колонии является самым быстрым среди других рассматриваемых алгоритмов применительно к данной задаче. Второй по скорости – это генетический алгоритм. Однако, следует отметить, что Наибольшую точность, показывает самый ресурсозатратный по времени – алгоритм имитации отжига.

Если необходимо найти точное решение задачи минимизации функции с большим количеством экстремумов необходимо использовать алгоритм имитации отжига. А именно отжиг Коши, т.к. он показывает высокую точность и наиболее быструю сходимость в сравнении с другими видами отжига.

Список литературы

1. Эвристические методы [электронный ресурс] studfiles.net (дата обращения 10.03.2020).
2. Yusuke Watanabe, Mayumi Takaya, and Akihiro Yamamura/ Fitness Function in ABC Algorithm for Uncapacitated Facility Location Problem/ – Akita, Japan: Akita University, 2017.
3. Artificial bee colony algorithm [электронный ресурс] http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm (дата обращения 20.05.2020).
4. Батищев, Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач. – Нижний Новгород: 1995 год.
5. А.С. Лопатин Метод отжига – Санкт-Петербургский государственный университет, 2005.
6. Р. А. Нейдорф, И. В. Черногоров, О. Т. Ярахмедов, В. В. Полях/ Экспериментальное исследование возможностей решения многоэкстремальных задач оптимизации эвристическими методами/ – г. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2015.
7. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: Учебник для вузов – М.: Высш. Шк., 2002. – 730с.
8. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
9. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 36).
10. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

11. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1).

12. СанПиН 2.2.2/2.4.1.1340-03. «Гигиеническими требованиями к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 15.06.2003 г.

13. Обеспечение электробезопасности и пожарной безопасности на рабочем месте. [Электронный ресурс]
http://obg.sch867.edusite.ru/dopolnitilnie_computer/chs_computer.htm (дата обращения: 20.05.2020)

Приложение А

```
global out;
CostFunction=@(x) Sphere(x);
nVar=2;
VarSize=[1 nVar];
VarMin=-500;
VarMax= 500;
MaxIt=70;
nPop=100;
nOnlooker=nPop;
L=round(0.6*nVar*nPop);
a=0.03;

empty_bee.Position=[];
empty_bee.Cost=[];

pop=repmat(empty_bee,nPop,1);
BestSol.Cost=inf;

for i=1:nPop
    pop(i).Position=unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize);
    pop(i).Cost=CostFunction(pop(i).Position);
    if pop(i).Cost<=BestSol.Cost
        BestSol=pop(i);
    end
end

C=zeros(nPop,1);
BestCost=zeros(MaxIt,1);
BestX=zeros(MaxIt,1);
BestY=zeros(MaxIt,1);

for it=1:MaxIt

    for i=1:nPop

        K=[1:i-1 i+1:nPop];
        k=K(randi([1 numel(K)]));
        phi=a*unifrnd(-1,+1,VarSize);
        new_pos = pop(i).Position+phi.*(pop(i).Position-
pop(k).Position);

        new_x = new_pos(1,1);
        new_y = new_pos(1,2);

        new_x = validate(new_x, VarMax, VarMin);
        new_y = validate(new_y, VarMax, VarMin);
```

```

        newbee.Position = [new_x new_y];
        newbee.Cost=CostFunction(newbee.Position);
        if newbee.Cost<=pop(i).Cost
            pop(i)=newbee;
        else
        end
    end

    F=zeros(nPop,1);
    MeanCost = mean([pop.Cost]);
    for i=1:nPop
        F(i) = 1/(1 + pop(i).Cost);
    end
    P=F/sum(F);

    for m=1:nOnlooker

        i=RouletteWheelSelection(P);

        K=[1:i-1 i+1:nPop];
        k=K(randi([1 numel(K)]));

        phi=a*unifrnd(-1,+1,VarSize);

        new_pos = pop(i).Position+phi.*(pop(i).Position-
pop(k).Position);

        new_x = new_pos(1,1);
        new_y = new_pos(1,2);

        new_x = validate(new_x, VarMax, VarMin);
        new_y = validate(new_y, VarMax, VarMin);

        newbee.Position = [new_x new_y];
        newbee.Cost=CostFunction(newbee.Position);

        if newbee.Cost<=pop(i).Cost
            pop(i)=newbee;
        else
            C(i)=C(i)+1;
        end
    end

    for i=1:nPop
        if C(i)>=L
            pop(i).Position=unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize);
            pop(i).Cost=CostFunction(pop(i).Position);
            C(i)=0;
        end
    end
end

```

```

for i=1:nPop
    if pop(i).Cost<=BestSol.Cost
        BestSol=pop(i);
    end
end

BestCost(it)=BestSol.Cost;
BestX(it) = BestSol.Position(1,1);
BestY(it) = BestSol.Position(1,2);

end

```

Приложение Б

```

if nargin<6
    TolFun=1e-4;
    if nargin<5
        Mmax=150;
    end
end
x=x0; fx=feval(f,x); f0=fx;
for m=0: Mmax
    T=m/Mmax;
    mu=10^(T*100);
    for k=0:500
        dx=mu_inv(2*rand(size(x))-1, mu).*(u-l);
        x1=x+dx;
        x1=(x1 < l).*l+(l <= x1).*(x1 <= u).*x1+(u < x1).*u;
        fx1=feval(f,x1); df=fx1-fx;
        if (df < 0 || rand < exp(-T*df/(abs(fx)+eps)/TolFun))==1
            x=x1; fx=fx1;
        end
        if fx1 < f0 ==1
            x0=x1; f0=fx1;
        end
    end
end
end
end

function x=mu_inv(y,mu)
x=((1+mu).^abs(y)-1)/mu.*sign(y);
end

```


Приложение В

```
function chrom=crtrp(Nind,FieldDR)
Nvar = size(FieldDR,2);
aux = rand(Nind,Nvar);
m=[-1 1]*FieldDR;
ublb=ones(Nind,1)*m;
lb=ones(Nind,1)*FieldDR(1,:);
chrom=ublb.*aux+lb;

function gaDat=gaevolucion(gaDat)
Chrom=gaDat.Chrom;
nind=size(Chrom,1);
ObjV=inf(nind,1);
for i=1:nind
    if isempty(gaDat.ObjfunPar)
        ObjV(i)=feval(gaDat.Objfun,Chrom(i,:));
    else
        ObjV(i)=feval(gaDat.Objfun,Chrom(i,:),gaDat.ObjfunPar);
    end
end
gaDat.ObjV=ObjV;
[v,p]=min(gaDat.ObjV);
if v<=gaDat.fxmin
    gaDat.xmin=Chrom(p,:);
    gaDat.fxmin=v;
end
FitnV = ranking(gaDat.ObjV,gaDat.rf);
SelCh = select('sus',Chrom,FitnV,1);
SelCh = lxxov(SelCh,gaDat.Pc,gaDat.alfa);
Chrom = mutbga(SelCh,gaDat.FieldD,[gaDat.Pm 1])
Chrom(round(gaDat.NIND/2),:) = gaDat.xmin;
gaDat.Chrom=Chrom;

function FitV=ranking(ObjV,RFun)
if nargin==1
    error('Ranking function needs two parameters');
end

if ~(length(ObjV)==length(RFun))
    error('RFun have to be of the same size than ObjV. ');
end
[val,pos]=sort(ObjV);
FitV(pos)=flipud(RFun);
FitV=FitV';
function [SelCh]=select(SEL_F, Chrom, FitnV, GGAP)
if (nargin==3)
    if (SEL_F=='rws')
        indices=rws(FitnV,length(FitnV));
        SelCh=Chrom(indices,:);
```

```

elseif (SEL_F=='sus')

    indices=sus(FitnV,length(FitnV));
    SelCh=Chrom(indices,:);
else
    error('Incorrect selection method');
end
elseif (nargin==4)
    if (SEL_F=='rws')
        indices=rws(FitnV,round(length(FitnV)*GGAP));
    elseif (SEL_F=='sus')
        indices=sus2(FitnV,round(length(FitnV)*GGAP));
    else
        error('Incorrect selection method');
    end
    if (GGAP<1)
        oldpos=(1:length(FitnV))';
        for k=1:length(FitnV)
            pos=round(rand*length(FitnV)+0.5);

            oldpos([pos k])=oldpos([k pos]);
        end
        oldpos=oldpos(1:round(length(FitnV)*GGAP));
        SelCh=Chrom;
        SelCh(oldpos,:)=Chrom(indices,:);
    else
        SelCh=Chrom(indices,:);
    end
else
    error('Incorrect number of paramenters');
end

[kk,indi]=sort(rand(length(FitnV),1));
SelCh=SelCh(indi,:);

function NewChrom=mutbga(OldChrom,FieldDR,MutOpt)
if (nargin==3)
    pm=MutOpt(1);
    shr=MutOpt(2);
elseif (nargin==2)
    pm=1/size(FieldDR,2);
    shr=1;
else
    error('Incorrect number of parameters');
end

```