

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
Отделение информационных технологий

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Использование параллельных вычислений для определения Паретовских решений
УДК 004.032.24:519.81

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В4Б	Нанзатов Аюр Жамбалович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения ИТ	Горбунов В.М.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально – гуманитарных наук	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева И.И.	-		01.02.2018

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
09.03.01 Информатика и ВТ	Погребной А.В.	доцент, к.т.н.		

**ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
ПРОГРАММЕ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ 09.03.01 «ИНФОРМАТИКА И
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА», ИК ТПУ, ПРОФИЛЬ «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ
МАШИНЫ, КОМПЛЕКСЫ, СИСТЕМЫ И СЕТИ»**

Код резу льта та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критерии АИОР
Р1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания в области информатики и вычислительной техники, достаточные для комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 10, ПК-4, 5, 6), критерий 5 АИОР (п. 1.1)
Р2	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения инженерных задач.	Требования ФГОС (ОК-11, 12, 13, ПК-1, 2, 11), критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.2)
Р3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с созданием аппаратно-программных средств информационных и автоматизированных систем, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей.	Требования ФГОС (ОК-1, 8, ПК-2, 4, 6), критерий 5 АИОР (п. 1.2)
Р4	Разрабатывать программные и аппаратные средства (системы, устройства, блоки, программы, базы данных и т. п.) в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.	Требования ФГОС (ОК-2, 3, ПК-3, 4, 5), критерий 5 АИОР (п. 1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретация полученных данных, в области создания аппаратных и программных средств информационных и автоматизированных систем.	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-6, 7), критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные программно-аппаратные комплексы, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасность труда, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОК-4, 15, 16, ПК-9, 10, 11), критерий 5 АИОР (п. 1.5)

Универсальные компетенции		
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 4, ПК-1, 6, 7), критерий 5 АИОР (п. 2.1)
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14, ПК-7), критерий 5 АИОР (п. 2.2)
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-2, 3, 4), критерий 5 АИОР (п. 2.3, 2.4)
P10	Демонстрировать знания правовых, социальных, экономических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 5, 9), критерий 5 АИОР (п. 2.5)
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни и непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии.	Требования ФГОС (ОК-6, 7), критерий 5 АИОР (п. 2.6)

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Погребной А.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8В4Б	Нанзатову Аюру Жамбаловичу

Тема работы:

Использование параллельных вычислений для определения паретовских решений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.03.2018 г., № 1547/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

06.06.2018

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none">– результаты преддипломной практики;– научная литература по тематике исследования;– среда разработки Microsoft Visual Studio.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none">– Обзор научной литературы;– изучение методов определения паретовских решений;– использование на практике численного метода определения оптимальных решений;– автоматизация графического метода поиска решений;– оценка влияния используемых параллельных вычислений на скорость работы приложения;– анализ ресурсоэффективности и конкурентоспособности проекта;

	– анализ вопросов, связанных с охраной труда и влиянием деятельности программиста на окружающую среду.
--	--

Перечень графического материала	- презентация;
--	----------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Екатерина Васильевна
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения ИТ	Горбунов В.М.	к.т.н.		01.02.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В4Б	Нанзатов Аюр Жамбалович		01.02.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8В4Б	Нанзатову Аюру Жамбаловичу

Школа	ИШИТР: Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение	Информационных технологий
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	09.03.01 Информатика и вычислительная техника

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
Нормы и нормативы расходования ресурсов.	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	Оценка потенциальных потребителей исследования, SWOT-анализ.
Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.	Определение возможных альтернатив с помощью морфологического подхода.
Планирование научно-исследовательских работ.	Планирование структуры работ, определение трудоемкости работы и построение календарного графика.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально – гуманитарных наук	Старикова Е.В.	к.ф.н.		01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В4Б	Нанзатов Аюру Жамбалович		01.03.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА: «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8В4Б	Нанзатову Аюру Жамбаловичу

Школа	ИШИТР: Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение	Информационных технологий
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом исследования является ПО для определения Паретовских решений. Разрабатываемое приложение будет использоваться офисными сотрудниками, поэтому в качестве исходных данных выступают параметры рабочего места в офисе. Работа с ПО происходит с использованием компьютеров, которые могут являться источниками вредных воздействий на сотрудника.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Возможны следующие вредные факторы:

- Нарушение параметров микроклимата;
 - Недостаточное или неправильное освещение;
 - Повышенный уровень шума;
 - Повышенный уровень излучения электромагнитных полей;
 - Психофизиологические факторы;
- Возможны следующие опасные факторы:

- Высокое напряжение в электрической цепи, вероятность короткого замыкания;
- Опасность поражения электрическим током.

<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу не происходит. Утилизация используемых люминесцентных ламп, макулатуры.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Перечень возможных ЧС, которые могут возникнуть при работе в помещении офиса.</p> <p>Мероприятия по профилактике и недопущению пожаров.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <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. 	<p>Основные проводимые организационные и правовые мероприятия по обеспечению безопасности трудящихся на рабочем месте согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, ТК РФ ФЗ-197</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна			01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В4Б	Нанзатов Аюр Жамбалович		01.03.2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
Отделение информационных технологий
Уровень образования Бакалавриат
Период выполнения осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года
Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.03.2018	Анализ предметной области	10
17.03.2018	Исследование предложенного алгоритма для реализации	10
24.04.2018	Реализация метода	20
19.05.2018	Отладка программы и проведение экспериментов на тестовых данных	20
04.05.2018	Оформление пояснительной записки	20
15.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
16.05.2018	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения ИТ	Горбунов В.М.	к.т.н.		01.02.2018

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
09.03.01 Информатика и ВТ	Погребной А.В.	к.т.н.		01.02.2018

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 с., 24 рис., 24 табл., 35 источников.

Ключевые слова: параллельные вычисления, многокритериальная оптимизация, оптимальность по Парето, методы решения задач многокритериальной оптимизации, критерии оптимизации, численный метод.

Объектом исследования является численный метод нахождения Парето-оптимальных решений и влияние использования параллельных вычислений на скорость нахождения этих решений.

Цель работы – разработка программного обеспечения для определения паретовских решений с использованием параллельных вычислений.

В процессе исследования проводились: изучение численного метода определения парето-оптимальных решений, проектирование и реализация программного обеспечения для нахождения оптимальных решений с использованием параллельных вычислений, графическое представление паретовских решений, использование схемы Нэша в многокритериальных задачах оптимизации.

В результате исследования была разработана программа для нахождения решений, оптимальных по Парето в интерактивном режиме.

Область применения: в учебном процессе, на практике, в сферах деятельности, где используются задачи многокритериальной оптимизации.

Экономическая значимость работы: разработка является более дешевым аналогом коммерческих приложений и удобна в использовании.

В будущем планируется усовершенствование разработки для увеличения размерности решаемых задач оптимизации и улучшения интерфейса.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Многокритериальная оптимизация – это процесс в теории принятия решений, предназначенная для решения задач математической оптимизации, включающих несколько целевых функций, которые необходимо оптимизировать одновременно.

Парето-оптимальные решения – те решения задач многокритериальной оптимизации, при которых невозможно улучшить какой-либо из критериев без ухудшения другого.

Компромиссная кривая – множество паретовских точек в двумерном пространстве критериев.

ЛПР – лицо, ответственное за принятие решений.

Оглавление

Введение.....	15
1 Исследование предметной области	17
1.1 Многокритериальная задача оптимизации.....	17
1.2 Оптимальность по Парето.....	17
1.3 Визуализация паретовских решений	18
1.4 Параллельные вычисления.....	19
2 Методы решения задач многокритериальной оптимизации.....	20
2.1.1 Оптимальность по Парето.....	22
2.1.2 Методы построения множества Парето	26
2.1.3 Использование параллельных вычислений в МЗО	31
3 Нахождение паретовских решений для конкретной задачи многокритериальной оптимизации	35
3.1 Постановка конкретной задачи	35
3.1.1 Алгоритм численного метода для двух критериев	38
3.1.2 Построение фронта Парето для трёх критериев.....	42
3.1.3 Использование обобщённых критериев для решения МЗО....	44
4 Реализация программного обеспечения для определения паретовских решений и Результаты разработки	47
4.1 Выбор средств реализации.....	47
4.2 Нахождение оптимальных решений и распараллеливание.....	49
4.3 Структура программы	50
4.4 Результаты работы	50
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	58
Введение.....	58

5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	58
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	58
5.1.2	Исследование целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект	59
5.1.3	SWOT-анализ	61
5.2	Определение возможных альтернатив проведения исследований	62
5.3	Планирование научно-исследовательских работ	63
5.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	63
5.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	64
5.3.3	Составление календарного план-графика работ	66
5.3.4	Бюджет научно-технического исследования	68
5.4	Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования	72
	Вывод.....	74
6	Социальная ответственность.....	75
	Введение.....	75
6.1	Производственная безопасность	76
6.1.1	Освещенность рабочей зоны	76
6.1.2	Микроклимат помещения	79
6.1.3	Уровень шума.....	80
6.1.4	Электромагнитное излучение.....	82
6.1.5	Психофизиологические вредные производственные факторы	83
6.1.6	Электробезопасность.....	86
6.2	Экологическая безопасность	87
6.2.1	Загрязнение атмосферного воздуха	87

6.2.2	Загрязнение гидросферы	88
6.2.3	Отходы	88
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	90
6.4.1	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	
	91	
	Вывод.....	93
	Заключение	94
	Список публикаций студента	95
	Список использованных источников	95
	Приложение А	99

ВВЕДЕНИЕ

В науке и технике достаточно актуальны задачи многокритериальной оптимизации, требующие одновременной оптимизации сразу по нескольким критериям. Задачи многокритериальной оптимизации возникают практически в любой области, при проектировании техники, планировании, управлении, в экономике и прочей деятельности.

При однокритериальной постановке задачи без ответа остаются важные вопросы: какой ценой это достигается, в какой мере ухудшаются при этом другие критерии качества? Хорошо известно: при оптимизации по одному критерию получаем одни результаты, по другому – другие, сразу по двум – третьи и т.д. Очевидно, что во всех случаях следует стремиться к одновременному учету всех основных локальных критериев качества.

Краеугольным понятием в многокритериальной оптимизации является – *Парето-оптимальная (недоминируемая) альтернатива*, т.к. поиск приемлемой ("оптимальной") альтернативы, являющейся решением многокритериальной задачи, следует выполнять на множестве недоминируемых альтернатив. Именно поэтому так актуальны методы, позволяющие выделять подмножества Парето-оптимальных альтернатив из множества возможных альтернатив [1].

Стандартный метод нахождения оптимальных по Парето решений с использованием компьютерных программ – это последовательный перебор с попарным сравнением и отбрасывание доминированных (неоптимальных) решений в цикле.

Целью данной работы является разработка программного продукта, реализующего интерактивное определение Парето-оптимальных решений с использованием параллельных вычислений. Программа использует алгоритм приближенного нахождения множества паретовских точек на основе численного способа и графического представления паретовских решений для двух и трёх критериев. Даёт возможность пользователю самостоятельно

выбирать отдельные решения среди оптимальных, наиболее соответствующие выбранным им приоритетам. Таким образом, пользователь может учесть различную значимость критериев и наглядно проследить зависимость между параметрами решений и значениями критериев, а также оценить целесообразность и эффективность использования многопоточности при вычислениях.

Созданное приложение может использоваться в учебных целях, а также лицами, ответственными за принятие решений в многокритериальных задачах.

Объектом исследования является многокритериальная оптимизация с использованием численного метода определения парето-оптимальных решений. Предметом исследования является разработка программного обеспечения, позволяющего осуществлять нахождение оптимальных по Парето решений в интерактивном режиме.

Научная новизна данной работы заключается в исследовании влияния параллельности вычислений на скорость вычислений паретовских решений, влияние схемы Нэша на результат оптимизации при использовании мультипликативного критерия.

Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения разработанного программного обеспечения в учебном процессе, в практических задачах многокритериальной оптимизации, графического представления паретовских решений [1]. Результаты работы по ВКР были представлены на Международной научно-практической конференции «Наука и практика в условиях санкционного миропорядка» 30-31 мая 2018 года г. Санкт-Петербург, проводится на базе «Санкт-Петербургского Центра Системного Анализа».

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

1.1 Многокритериальная задача оптимизации

Исторические замечания. Над проблемой принятия решений при наличии противоречивых критериях размышляли многие великие умы, например, автор американской Конституции Бенджамин Франклин (1706–1790). Известными представителями математической школы были Френсис Эджворт (1845–1926) и Вильфредо Парето (1848–1923).

В 1964 г. вышла основополагающая статья, авторами которой были американский учёный Д. Льюис и Дж. Тьюки. В этой статье авторы, на примере двух критериев, был предложен аддитивный критерий оптимальности (авторы назвали *совместным измерением*). Следует отметить таких американских учёных как Х. Райф и Р. Кини и француза Б. Руа.

Научная школа многокритериального анализа связана с О. И. Ларичевым и Ю.Б. Гермейером [2].

В настоящее время литературы по многокритериальной оптимизации очень много. Её можно найти как в библиотеке, так и в Интернете [3]. Для учебного процесса создаются электронные курсы [4].

Постановка и методы решения многокритериальных задач рассмотрены в книгах [5]. Следует отметить, что изложение в некоторых книгах требует повышенной математической подготовки, см. например книгу Подиновского [6]. Для студентов технических вузов следует порекомендовать книги Соболя, Гладких Б.А, Горбунова В.М. [4, 8].

1.2 Оптимальность по Парето

Считается, что если получено множество эффективных оценок и множество паретовских оценок, то задача решена. Выбор оптимального решения остаётся за ЛПР. Например, Нейман и Моргенштерн считали, что само множество паретовских оценок является решением, т.е. анализ игры заканчивается после выделения нахождения паретовских оценок, а выбор

конкретной совместной стратегии остаётся на совести игроков. Они вправе вести любые переговоры: торговаться, угрожать – эти проблемы остаются за пределами математики [2, стр. 259].

Именно поэтому так актуальны методы, позволяющие выделять подмножества парето-оптимальных решений (альтернатив) из множества возможных решений. Для нахождения парето-оптимальных решений существуют аналитический подход, где для нахождения паретовских решений требуется линейная зависимость градиентов частных критериев [9]. Однако такой метод, где требуется, например, дифференцируемость частных критериев, выпуклость паретовской границы, не подходит для реальных практических задач.

Поэтому для нахождения паретовских решений используют численные методы. Численные методы применяются для решения задач, которые не могут быть решены аналитически. Эти методы в большинстве основаны на исследовании различных вариантов с целью выбора наилучших.

1.3 Визуализация паретовских решений

К другим общим методам, которые эффективно применяются для решения задач оптимизации, относятся графические. Графические методы основаны на графическом отображении пространства оценок. В силу своего определения паретовские оценки всегда находятся на границе пространства оценок. В двумерном случае, когда имеются два частных критерия), понятие оптимальности по Парето просто показать геометрически. Каждой альтернативе соответствует точка в двумерном критериальном пространстве. Паретовские оценки пользователь или ЛПР наблюдает визуально. В случае максимизации частных критериев – это северо-восточная граница. Данный подход подробно рассмотрен в работах [2, 9].

Для визуализации, когда число локальных критериев больше двух, авторами в книге [9] используется метод достижения целей (МДЦ), который заключается в том, что пространство оценок строится для двух выбранных

критериев, а остальные фиксируются и потом изменяются. Авторы предлагают изменять третий выбранный критерий, а остальные оставлять без изменения. В результате графически отображаются несколько пространств оценок и, следовательно, паретовских границ. В дальнейшем паретовские границы отображаются на одном графике.

Главное преимущество визуализации – практически полное отсутствие необходимости в специальной подготовке пользователя. При помощи визуализации можно ознакомиться с информацией достаточно просто, всего лишь бросив на неё взгляд.

Визуализация данных может быть представлена в виде: графиков, схем, гистограмм, диаграмм и т.д.

Кратко роль визуализации можно описать такими её возможностями:

- поддержка интерактивного и согласованного исследования;
- помощь в представлении результатов;
- использование зрения, чтобы создать зрительные образы и осмыслить их [10].

1.4 Параллельные вычисления

При обработке «больших данных» целесообразно использовать параллельные вычисления. Данные, зачастую, можно разбить на группы, обрабатывать их независимо и параллельно. Затем результаты обработки групп объединяются в общее решение. Помимо того, что обработка групп может вестись параллельно, разбиение задачи на подзадачи меньшей размерности может приводить к дополнительному эффекту, ускоряющему решение общей задачи [11].

В настоящее время параллельные вычисления широко используются в многокритериальных задачах оптимизации. Решение задач многокритериальной оптимизации требует большого количества вычислительных ресурсов. Для увеличения скорости поиска эффективных

решений и паретовских оценок предложено использовать параллельный подход к решению таких задач.

Одно из направлений использования параллельных вычислений – это их использование в генетических алгоритмах [12, 13].

2 МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Методы решения задачи многокритериальной оптимизации чрезвычайно разнообразны. Можно классифицировать общие методы оптимизации: аналитические, использующие дифференциальное исчисление. Данные методы заключаются в определении таких оценок векторного критерия F путём нахождения тех значений X , которые обращают линейную комбинацию градиентов частных критериев в нуль. Решения получены для частного случая, когда имеется два локальных критерия. Размерность пространства решений X равна n ($n \geq 2$). Однако для большинства задач аналитические методы оказываются непригодными [2, 3].

Существует несколько различных методов многокритериальной оптимизации, которые классифицируются с учётом различных условий при решении инженерных проблем [3]:

- Методы априорного выявления критериев: этот метод позволяет разработчику устанавливать предпочтения, которые могут быть сформулированы с точки зрения относительной важности различных целей. К этим методам относятся следующие:
 - Метод компромиссного программирования (Compromise programming method);
 - Метод взвешенных минимумов-максимумов (Weighted min-max method);
 - Целевое программирование (Goal programming);
 - Weighted product method (WPM);
 - Лексикографический метод (Lexicographic method).

- Методы апостериорного выявления критериев: иногда лицу, ответственному за принятие решений (ЛПР), сложно выявить точную функцию предпочтений. Таким образом, ему приходится выбирать из некоторого диапазона решений.
 - Метод физического программирования (Physical programming method);
 - Генетический алгоритм (Genetic algorithm);
 - Метод нормального пересечения границы (Normal boundary intersection method);
 - Метод нормальных ограничений (Normal constraint method).
- Бесприоритетные методы: в большинстве случаев ЛПР не может однозначно определить предпочитаемые критерии. Эта группа методов решения МЗО не требует чёткой установки этих предпочтений. Большинство из них — это упрощенные приоритетные методы с приравниванием всех весов критерия к одному. Они включают:
 - Метод глобальных критериев (Global criterion method);
 - Компромиссная функция (Compromise function);
 - Метод экстремумов (Min-max method).

С математической точки зрения, развитие методов решения задач векторной оптимизации идёт по следующим трём направлениям:

- 1) Методы построения обобщённых критериев. Частные критерии в таком случае объединяются в комплексный (составной) критерий, который затем оптимизируется. Оценки по частным критериям «синтезируются» в единую численную оценку, отражающую полезность этих оценок для ЛПР. В зависимости от того, каким образом частные критерии объединяются в обобщённый критерий, различают критерии, например, *аддитивные*, *мультипликативные* и *метод идеальной точки*.

- 2) Методы последовательной оптимизации. Сначала ищется наилучшее решение по самому важному критерию. Далее ищется решение, являющееся наилучшим по следующему по важности критерию и т.д. При этом допускается некоторая уступка по отношению к предыдущему критерию.
- 3) Методы сужения области допустимых решений. Один из подходов сужения области допустимых решений заключается в поиске недоминируемых решений, так же называемых Парето-оптимальными решениями [3].

2.1.1 Оптимальность по Парето

При проектировании приходится учитывать многообразные, подчас противоречивые, требования. Среди критериев качества можно назвать конструкторско-технологические (обеспечение прочности, устойчивости, жёсткости, долговечности), функциональные (конструкция должна качественно выполнять своё назначение), производственно-технические (изготовление должно вестись максимально отработанными и быстрыми методами), а также экономические и социальные.

Способ выбора решений в многокритериальных задачах заключается в сравнении всех альтернативных решений по заданным критериям и определении подмножества результатов, являющихся наилучшими. При этом отказываются от поиска одного лучшего решения. На основе аксиомы Парето, одно из решений x_1 может быть признано лучшим по сравнению с другим решением x_2 только в том случае, когда оценки всех частных критериев первого решения превосходят оценки критериев второго решения. Проектируемая система зависит от n параметров x_1, \dots, x_n , которые принято считать точкой в n -мерном пространстве. Обычно x входит в дифференциальные и другие уравнения, описывающие функционирование системы [15].

Имеются локальные критерии качества – производительность, материалоемкость, к.п.д. и т.д. Эти критерии $F_i(x_k)$, $i=1, \dots, n$ при прочих равных условиях всегда стремятся экстремизировать.

Чтобы избежать ситуации, когда с точки зрения заказчика значения отдельных критериев оказываются недопустимо плохими, необходимо ввести критериальные ограничения:

$$F_i(x) \leq F_i^{**}, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где F_i^{**} - это худшее значение критерия $F_i(x)$, на которое проектировщик может согласиться. Параметрические и критериальные ограничения выделяют допустимое множество D , т.е. множество вариантов x проекта, удовлетворяющих этим ограничениям [16].

Сформулируем теперь одну из основных задач оптимального проектирования. Требуется найти такое множество $P \subset D$, для которого

$$F(P) = \min_{x \in D} F(x), \quad (2)$$

где $F(x) = (F_1(x), \dots, F_n(x))$ – вектор критериев.

Точка $x_1 (x_j \in D)$ называется оптимальной по Парето (недоминируемой), если не существует точки $x \in D$, такой, что $F_i(x_1) \leq F_i(x_2)$ для всех $i = \overline{1, n}$, и хотя бы для одного i $F_i(x) < F_i(x_1)$. Множество $P \subset D$ называется Парето-оптимальным, если оно состоит из всех оптимальных по Парето точек.

Другими словами, оптимальность по Парето означает, что нельзя дальше улучшать значение одного критерия, не ухудшая при этом хотя бы одного из остальных.

Если все оценки частных критериев оптимизации одного решения равны оценкам критериев другого, то решения равнозначны. Таким образом, предпочтение одному решению перед другим можно отдать только если первый по всем критериям лучше второго. В результате попарного сравнения все худшие по всем критериям решения отбрасываются, а все оставшиеся принимаются.

В том случае, когда множество допустимых исходов является непрерывным, их векторные оценки "заполняют" некоторую область Y_D на

плоскости (два локальных критерия) и получается "картинка" вроде изображённой на рис.2.1. В этом случае множество Парето-оптимальных оценок (красная линия) представляет собой часть границы Y_D , образно говоря, её "юго-западную" границу". Если критерии максимизируются, то – "северо-восточную" границу области Y_D . Такие границы называют *фронтом Парето* [17].

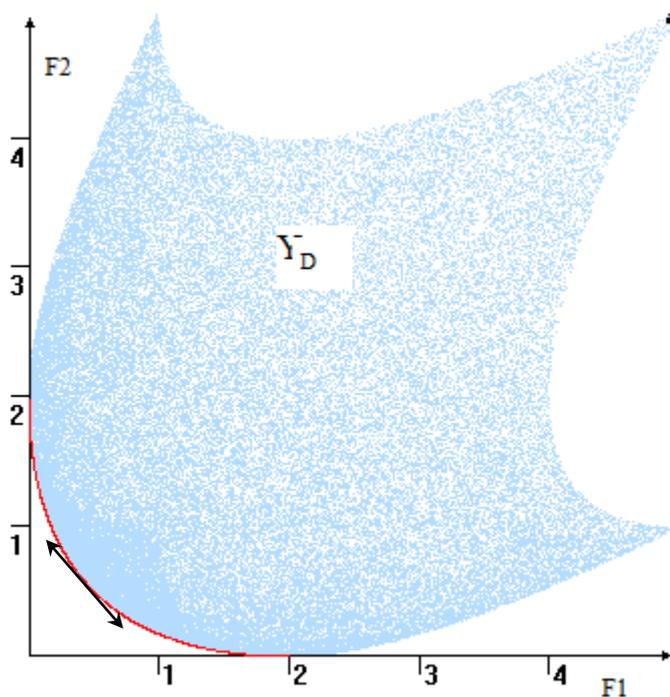


Рис. 2.1. Пространство оценок Y_D и компромиссная кривая (красный цвет)

Однако, в случае с невыпуклым фронтом Парето использование линейной свертки не позволяет получить все эффективные по Парето решения. В таких случаях используется свертка Гермейера.

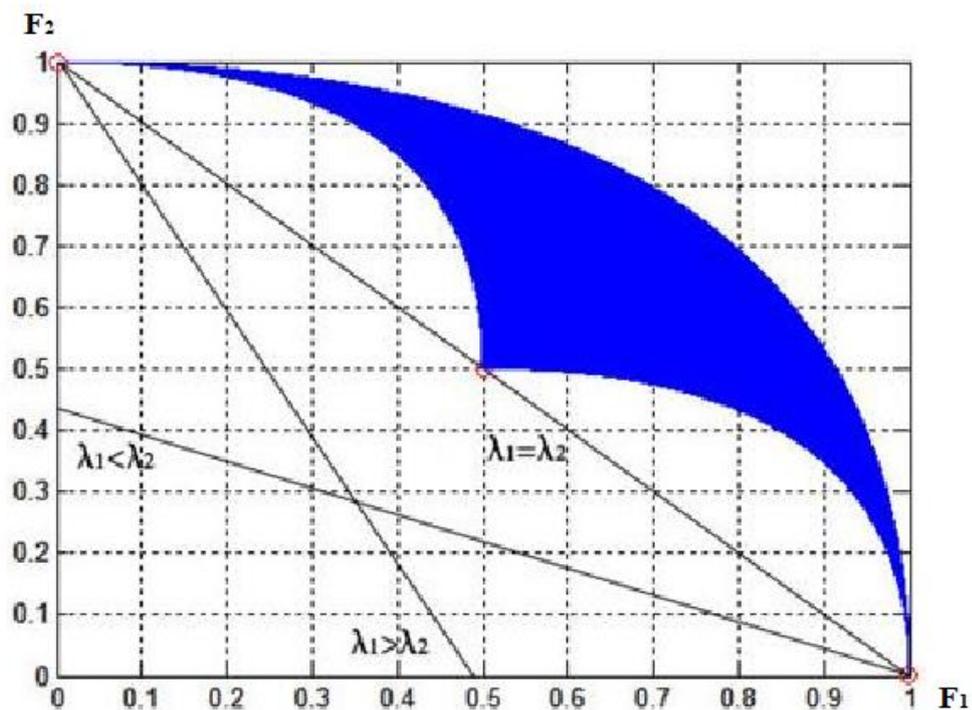


Рис. 2.2. Линейная свертка критериев

Линии уровня свертки Гермейера представляют собой границу конуса $\{\Phi^\gamma + (-R_+^2)\}$. Здесь точка Φ^γ – вершина конуса – точка в пространстве критериев с координатами $(\Phi_1 = \frac{\gamma}{\lambda_1}, \Phi_2 = \frac{\gamma}{\lambda_2})$; величина γ определяется из условия $\gamma = \max\{(\lambda_1 \Phi_1(X), \lambda_2 \Phi_2(X))\}$, R_+^2 – неотрицательный ортант [18].

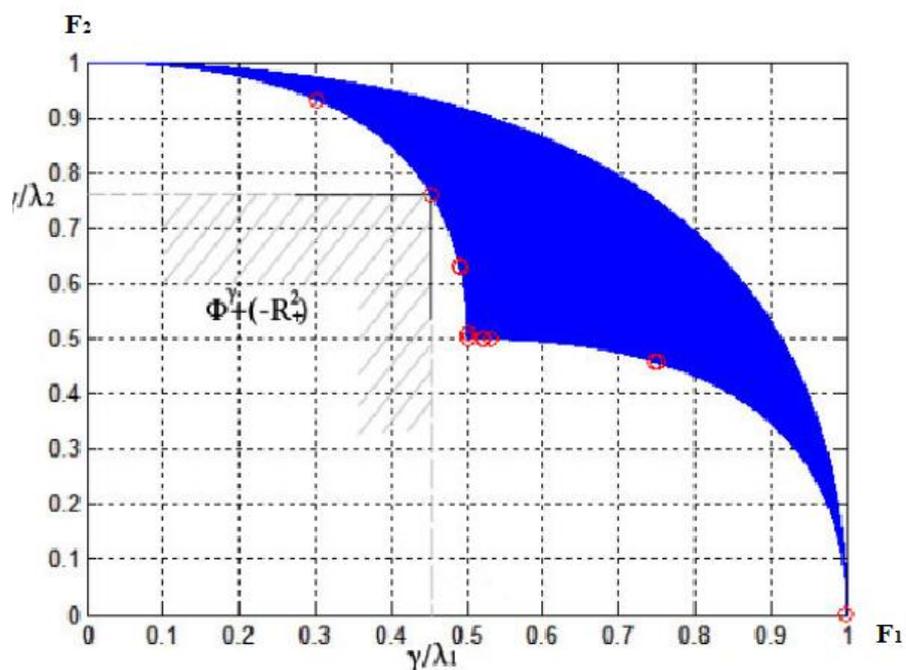


Рис. 2.3. Свертка Гермейера

Из рисунка 2.3. следует, что с помощью свертки Гермейера можно найти все эффективные и слабо эффективные решения.

Таким образом, задача сводится к получению множества Парето-оптимальных точек, в свою очередь образующих компромиссную кривую в двумерном пространстве.

2.1.2 Методы построения множества Парето

Оптимизационные методы делятся на следующие группы:

- Аналитические методы;
- Численные методы;
- Графические методы.

Аналитические методы – это преобразования и работа с математическими равенствами и формулами как с последовательностью символов. Они отличаются от численных методов, которые оперируют приближёнными численными значениями, стоящими за математическими выражениями. Графические же методы основаны на геометрической интерпретации задачи многокритериальной оптимизации и применяются в основном при решении задач с двумя или тремя критериями, т.к. графически невозможно изобразить задачу в больше, чем трёх измерениях [9].

2.1.2.1 Аналитические методы построения множества Парето

Необходимые условия оптимизации. В области нелинейного программирования большое внимание уделено определению необходимых и достаточных условий того, чтобы некоторый вектор решений X являлся локальным экстремумом. Отметим, что критерии оптимальности необходимы не только для распознавания решений, но и для поиска решений, т.к. они составляют основу большинства используемых методов поиска решений. Аналогичные вопросы стоят и перед многокритериальной оптимизацией.

Для двух локальных критериев $F_1(X)$ и $F_2(X)$ условием стационарности точек компромиссной кривой требуется чтобы два градиента (вектора) были линейно зависимы, т.е. $\lambda_1 \nabla F_1(X) + \lambda_2 \nabla F_2(X) = 0$, где $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$. Или в другой форме:

$$\nabla F_1(X) = -\lambda \nabla F_2(X) = 0, \text{ где } \lambda = \lambda_2 / \lambda_1: 0 \leq \lambda < \infty.$$

В работе [Соболь, Стат] приводится построение компромиссной кривой и множества Парето как параметрических уравнений параметра λ , в которой показывается, что последнее векторное уравнение равносильно m скалярным алгебраическим уравнениям:

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_j} = -\lambda \frac{\partial F_2}{\partial x_j}, j=1, 2, \dots, m,$$

которые определяет кривую в пространстве параметров $x_1 = \varphi_1(\lambda), \dots, x_n = \varphi_n(\lambda)$. Если участок этой кривой, на котором $\lambda \geq 0$ принадлежит множеству D , то он принадлежит и множеству P (P – множество Парето, множество эффективных решений)). Участок КК в этом случае определяется параметрическими уравнениями:

$$F_1 = F_1(\varphi_1(\lambda), \dots, \varphi_n(\lambda)),$$

$$F_2 = F_2(\varphi_1(\lambda), \dots, \varphi_n(\lambda)), \lambda \geq 0.$$

Пример. В квадрате $D = \{-1 \leq x_1 \leq 1, -1 \leq x_2 \leq 1\}$ заданы два критерия

$$F_1(x_1, x_2) = 4x_1^2 + x_2^2, F_2(x_1, x_2) = (x_1 + 1)^2 + (x_2 - 1)^2,$$

которые желательно минимизировать.

1. Находим минимумы функций F_1 и F_2 . Абсолютные минимумы находятся в точках $(0,0)$ и $(-1,1)$ и принадлежат области D .

2. Находим частные производные

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = 8x_1; \quad \frac{\partial F_2}{\partial x_1} = 2(x_1 + 1); \quad \frac{\partial F_2}{\partial x_2} = 2(x_2 - 1); \quad \frac{\partial F_1}{\partial x_2} = 2x_2, \quad \text{составляем систему}$$

уравнений

$$\begin{cases} 4x_1 = -\lambda (x_1 + 1) \\ x_2 = -\lambda (x_2 - 1). \end{cases}$$

Отсюда получаем параметрическое уравнение кривой P в области D

$$x_1(\lambda) = -\frac{\lambda}{\lambda + 4}; \quad x_2(\lambda) = \frac{\lambda}{\lambda + 1} \quad 0 \leq \lambda < \infty.$$

Параметрическое уравнение КК будет иметь следующий вид

$$F_1(\lambda) = 4\left(-\frac{\lambda}{4 + \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{1 + \lambda}\right)^2,$$

$$F_2(\lambda) = \left(-\frac{\lambda}{4 + \lambda} + 1\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{1 + \lambda} - 1\right)^2, \quad 0 \leq \lambda < \infty.$$

Построим графики паретовских кривых в области D и пространстве критериев (рис. 2.4 и 2.5).

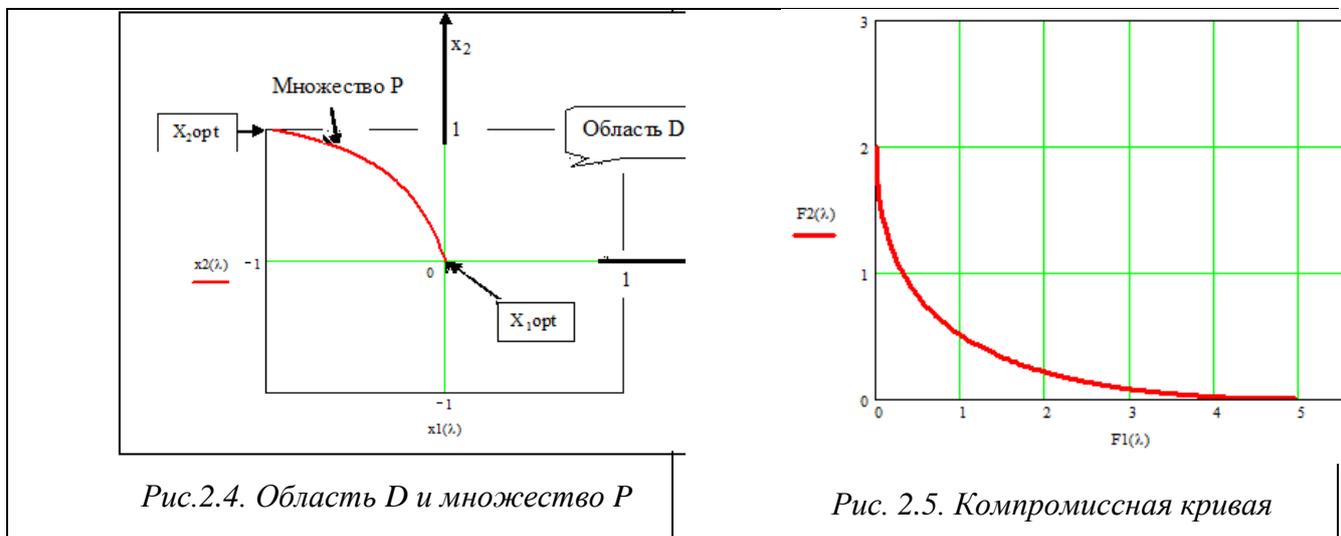


Рис.2.4. Область D и множество P

Рис. 2.5. Компромиссная кривая

На основе полученных данных, ЛПР выбирает решение сам, используя свой опыт и знания или привлекает методы, которые позволяют сократить паретовское множество. Например, использовать обобщённые критерии оптимальности, которые позволяют получить единственное решение, но они требуют, чтобы компромиссная кривая была выпуклой.

2.1.2.2 Численный метод получения множеств Парето

Следует отметить, что допустимые и парето-оптимальные множества, как правило, многосвязные, невыпуклые, отсутствует о гладкости локальных критериев, последние могут быть недифференцируемыми и нелинейными, почти всегда имеется множество различного вида ограничений, размерность векторов параметров и критериев достигает порой многих десятков. Поэтому

для нахождения паретовских решений широко используются численные методы.

Численные методы применяются для решения задач, которые не могут быть решены аналитически. Как правило, здесь используются методы исследования различных вариантов. Эти методы основаны на анализе нескольких возможных решений одной и той же задачи с целью выбора наилучших. Таким образом, «наилучшие» решения, полученные методом исследования различных вариантов, будут, скорее всего, лишь приближённо эффективными [2, 7].

Порядок вычислений численного метода заключается в следующем:

Шаг 1. В области решений D нужно сгенерировать N пар точек, для чего можно использовать датчик случайных чисел, равномерно распределенных в этой области. Получив множество D_N , необходимо найти оценки критериев: F_1 и F_2 , по которым строится критериальное пространство Y_{DN} (пространство оценок). Векторные оценки представляются точками координатной плоскости (по оси абсцисс откладываются значения локального критерия F_1 , по оси ординат – значения локального критерия F_2).

Шаг 2. Согласно определению оптимальности по Парето строится компромиссная кривая KK_N в области Y_{DN} , после чего находятся паретовские точки P_N в области D_N , соответствующие точкам KK_N .

Таким образом, точность нахождения оптимальных решений зависит от установленного количества точек N в области решений D [12]. На рис. 2.6 приведён пример численного метода определения эффективных решение (P) и множество паретовских оценок (KK). Число точек $N=50000$, время вычисления без использования параллельных вычислений 3,25 сек, см. табл. 2.1.

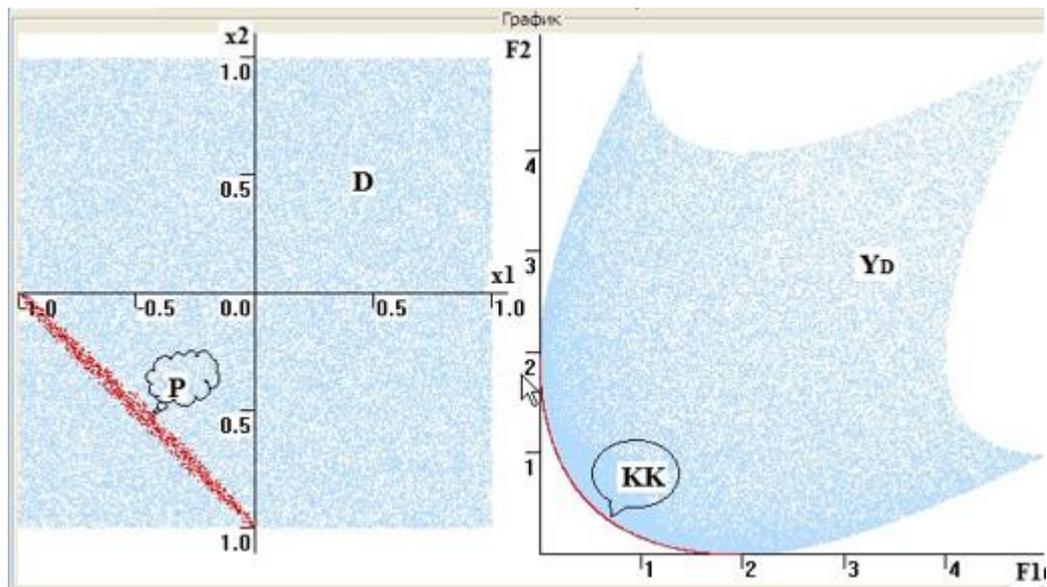


Рис.2.6. Левый рисунок – область D и P (красная линия), правый рисунок – область векторных оценок Y_D и KK (красная линия)

Решение реальных задач требуют большого объёма вычислений. Эффективность использования вычислительных систем во многом определяется возможностями организации параллельной обработки.

2.1.2.3 Графический метод

Визуализация – это инструмент, который позволяет увидеть конечный результат вычислений, организовать управление вычислительным процессом. В результате использования визуализации создаётся графический образ данных. Применение визуализации помогает в процессе анализа данных увидеть аномалии, структуры, тренды. Можно говорить о том, что применение визуализации является более экономичным: линия тренда или скопление точек на диаграмме рассеяния позволяет аналитику намного быстрее определить закономерности и прийти к нужному решению.

Визуализация данных широко используется в многокритериальных задачах оптимизации. Графические методы, основанные на графическом изображении множества оценок (число частных критериев равно двум или трём), что позволяет анализировать паретовские оценки непосредственно на графике. Решения, полученные данным методом, также будут субоптимальными (численный подход) [2, 9].

2.1.3 Использование параллельных вычислений в МЗО

В настоящее время параллельные вычисления широко используются в многокритериальных задачах оптимизации. Параллельные вычисления особенно необходимы, когда задача требует высокой производительности компьютера. Распараллеливание по данным – один из главных приемов параллельного программирования, позволяющий ускорить обработку больших данных. При обработке «больших данных» целесообразно использовать параллельные вычисления.

Различают следующие методы на основе генетических алгоритмов:

- Basic PGA:
 - GPGA;
 - DGA;
 - MPGA;
- Additional PGA:
 - Hierarchical PGA;
 - Hybrid PGA.

Одной из наиболее эффективных разновидностей методов приближенного нахождения множества Парето являются методы на основе генетических алгоритмов. В соответствии с одним из вариантов классификации их можно разделить на несколько видов [14]:

GPGA (Global Parallel Genetic Algorithm) является однопопуляционным алгоритмом. Информация обо всем поколении содержится в памяти основного процессора, который выполняет над ним операции селекции и мутации. Функции пригодности индивидов вычисляются на slave-процессорах.

DGA (Distributed Genetic Algorithm) – это многопопуляционный алгоритм, в котором каждый процессор выполняет свой собственный генетический алгоритм для выбранной для него подпопуляции (части всей популяции). Распределенные генетические алгоритмы можно различить на имеющие и не имеющие механизма обмена индивидами между подпопуляциями. Различия в

исходных параметрах обеспечивают большое разнообразие, при этом баланс между уровнем разнообразия и преждевременной сходимостью зависит от объема и частоты обменов.

MPGA (Massively Parallel Genetic Algorithm) называют также клеточным алгоритмом. В данном алгоритме каждым процессором в один момент времени обрабатывается один индивид. Индивиды выбирают пару и рекомбинируют со своими непосредственными соседями.

В иерархических алгоритмах на различных уровнях иерархии реализованы разные генетические алгоритмы. Чаще всего используются двухуровневые иерархии, сочетающие алгоритмы DGA с GPGA или MPGA на разных уровнях: DGA – на верхнем, GPGA- или MPGA-модель – на нижнем.

Гибридные алгоритмы – разновидность алгоритмов, использующих сочетание параллельных генетических алгоритмов и классических методов оптимизации.

Данные, зачастую, можно разбить на группы, обрабатывать их независимо и параллельно. Затем результаты обработки групп объединяются в общее решение. Помимо того, что обработка групп может вестись параллельно, разбиение задачи на подзадачи меньшей размерности может приводить к дополнительному эффекту, ускоряющему решение общей задачи [15].

В параллельном варианте исходная задача оптимизации разбивается на k подзадач - множество сгенерированных N точек из области D разбивается на k равных групп, в каждой из которых производится определение Паретовских решений последовательным алгоритмом. После этого для получения окончательного решения задачи проводится слияние k паретовских решений групп (рисунок 2.7).

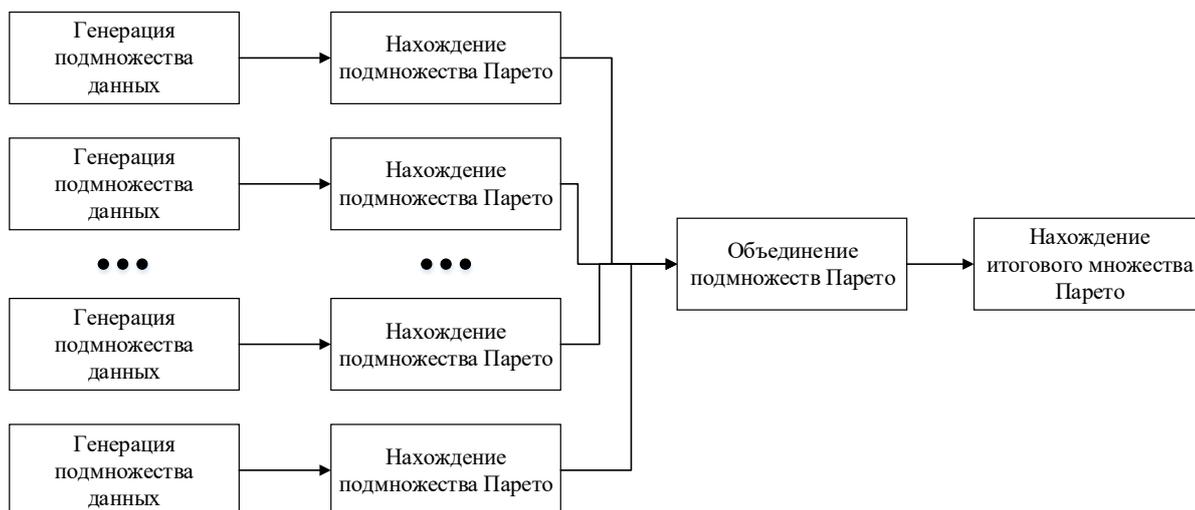


Рис. 2.7. Обобщенная схема алгоритма распараллеливания

Для эффективного распараллеливания число программных потоков следует задавать намного больше числа виртуальных процессоров компьютера, на котором производятся вычисления. Если обозначить число виртуальных процессоров компьютера через V , то оптимальное число программных потоков равно $k \cdot V$, где коэффициент k находится в диапазоне [10, 25].

Число создаваемых программных потоков не следует задавать больше чем $k \cdot V$ [11].

В виду того, что нахождение парето-оптимальных решений производится для каждого потока, выполняется условие сумматорности, которое предполагает, что выбор из объединения множеств равен объединению выборов из каждого множества в отдельности. Также должна выполняться транзитивность функции выбора. Транзитивность можно интерпретировать так: если выбор из объединения множеств X_1 и X_2 содержится в X_1 , а из X_2 и X_3 содержится в X_2 , то выбор из объединений множеств X_1 и X_3 должен содержаться в X_1 .

Для примера применения параллельных вычислений была использована следующая задача оптимизации:

найти минимумы локальных критериев

$$F_1 = (x_1 - 2)^2 + (x_2 - 3)^2$$

$$F_2 = (x_1 + 2)^2 + 4 * x_2^2$$

при ограничениях

$$-7 \leq x_1 \leq 7; -7 \leq x_2 \leq 7;$$

Для оценки эффективности было проведено автоматизированное тестирование: подсчитано среднее время работы программы для разного количества потоков и разных объемов выборки после 100 выполнений алгоритма. Результаты тестирования представлены в таблицах 1 и 2, рисунке 1.

Таблица 2.1. Среднее время работы алгоритма (в секундах)

Число точек	Число потоков					
	1	2	4	8	16	32
100	0,000559	0,000423	0,000438	0,000429	0,000714	0,000656
500	0,000928	0,000693	0,0006	0,000612	0,00063	0,000783
1000	0,00177	0,001096	0,000906	0,000837	0,000851	0,000946
2000	0,0046	0,002337	0,001589	0,001468	0,001388	0,0014
5000	0,020816	0,00807	0,004985	0,003565	0,003199	0,002958
10000	0,073454	0,026671	0,013927	0,008999	0,006991	0,006094
15000	0,229998	0,053933	0,026994	0,016833	0,018953	0,010039
20000	0,402682	0,122186	0,063672	0,035198	0,017326	0,018932
30000	0,894158	0,188288	0,092705	0,052234	0,051208	0,024526
40000	1,541486	0,45891	0,164716	0,103568	0,079131	0,043971
50000	2,264257	0,710113	0,267502	0,158871	0,110031	0,064532
100000	10,64915	3,427886	1,348221	0,655979	0,449907	0,247039

Определим коэффициент роста (ускорения). Данный коэффициент определяется как отношение данного уровня к базисному, но так как у нас время обработки убывает с повышением количества потоков, то мы возьмём обратную величину, т.е. базисного уровня к данному уровню. За базисное значение возьмём время выполнения задачи для одного потока.

Таблица 2.2. Ускорение выполнения алгоритма в сравнении с линейным выполнением

Точек	Число потоков				
	2	4	8	16	32
100	1,322224	1,277234	1,302871	0,783163	0,85141
500	1,338694	1,54707	1,515872	1,472334	1,185816
1000	1,615469	1,953648	2,114971	2,079351	1,870704
2000	1,967883	2,894614	3,133112	3,314802	3,285309

5000	2,57955	4,176144	5,838635	6,507056	7,037125
10000	2,754079	5,274164	8,162068	10,50736	12,05318
15000	4,264545	8,520198	13,66347	12,13544	22,90963
20000	3,295652	6,324309	11,44062	23,24208	21,26994
30000	4,7489	9,645234	17,11832	17,4613	36,45684
40000	3,35902	9,358438	14,88376	19,48014	35,05702
50000	3,188587	8,464443	14,25221	20,57836	35,08751
100000	3,106622	7,898665	16,23398	23,66969	43,10707

По данным из таблицы 2.2 можно заметить, что на малых объемах выборки (100 – 2000) ускорение изменяется незначительно для разного количества потоков, причем эффективность выполнения алгоритма на 16 и 32 потоках при выборке до 2000 элементов ниже, чем эффективность выполнения на 2, 4 и 8 потоках. Также видно, что ускорение работы алгоритма на 8 потоках больше, чем ускорение на 16 потоках для 15000 элементов и приблизительно равно ему для 30000 элементов. В свою очередь, выполнение алгоритма на 16 потоках для выборки объемом 20000 элементов дает большее ускорение, чем выполнение на 32 потоках.

3 НАХОЖДЕНИЕ ПАРЕТОВСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ КОНКРЕТНОЙ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Задачи многокритериальной оптимизации актуальны практически во всех сферах деятельности, в том числе – в рыболовной промышленности. При изучении МЗО было принято решение использовать разработанное программное обеспечение для определения Парето-оптимальных решений для конкретной задачи – поиска косяков рыбы.

3.1 Постановка конкретной задачи

Немного истории. Суть рыбной разведки в промежутки 1930-1950 гг. заключалась в поиске косяков рыбы, наведении рыболовного флота в этот район, а затем — в непосредственной наводке судов на рыбные косяки и помощи в обмётывании косяка неводами. Имел место случай, когда в районе Олюторского залива было обнаружено колоссальное количество сельди.

Громадный эллипс длиной до 300 км и шириной 180-200 км был сплошь усеян косяками сельди, которые располагались друг от друга через каждые 10-20 км, а в каждом косяке – от нескольких сотен до десятков тысяч тонн. Это свидетельствует о том, что рыболовным судам целесообразно вести поиск рыбы в водоёмах с помощью летательных аппаратов.

Для облегчения поиска косяков рыбы в океане рыболовецкие флотилии решено оснастить специальным оборудованием. Оно состоит из малоразмерного беспилотного самолёта с телевизионной широкоугольной камерой и передатчиком телевизионного изображения на рыболовецкое судно, где установлен телевизионный приёмник. Самолёт может совершать полёт по программе или управляться с того же судна по радио.

При авиаразведке очень важно правильно выбрать высоту полета. Если самолет идет слишком низко, он может распугать рыбу; к тому же на небольшой высоте невелика площадь обзора. Но с очень значительной высоты косяки рыб трудно рассмотреть; как правило, наиболее эффективно наблюдение с высоты 600 – 1000 м.

Критериями эффективности оборудования при согласовании технического задания на проектирование приняты:

- *максимальная дальность самолёта от судна R ;*
- *максимальный диаметр зоны одновременной телевизионной камеры D ;*
- *максимальное время полёта самолёта с имеющим запасом топлива t .*

Общая масса оборудования плюс масса топлива для двигателя не должна превышать 37 кг. При скорости полёта 150 км/час двигатель потребляет 0,8 кг/час. Масса G_t горючего, необходимого для t часов полёта равна $k_T \cdot t$, где $k_T=0,8$ кг/час.

Для увеличения диаметра D одновременно осматриваемой зоны на поверхности воды необходимо увеличить высоту H полёта, т.к. поле зрения фиксировано по своим условным размерам, причём можно считать, что $D \approx H$. Но при увеличении высоты полёта на борт необходимо установить более

мощную оптику. На рисунке 3.1. изображена схема, демонстрирующая дальность самолёта от судна, высоту его полёта, и зону охвата камеры.

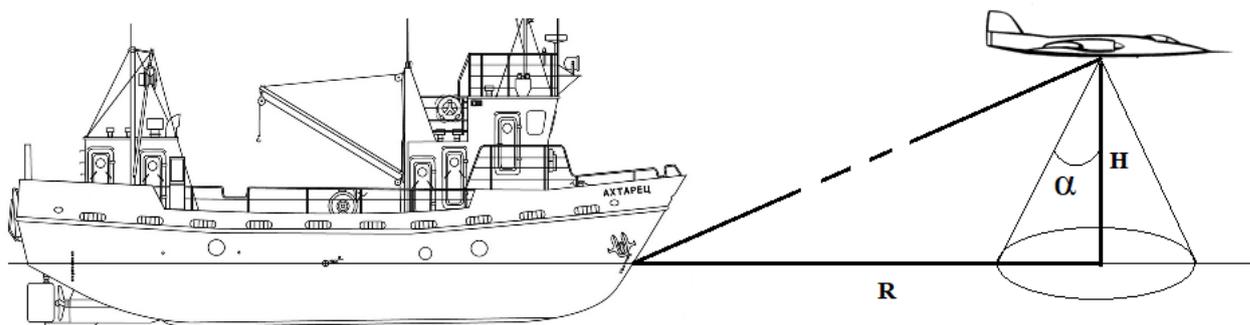


Рис 3.1. Схема поиска косяков рыбы

В процессе проектирования определено, что общая масса $G_{оп}$ телевизионной камеры с оптикой может быть представлена следующей зависимостью

$$G_{оп} = G_1 + k_0 H \quad (3)$$

где $G_1=2$ кг; $k_0=50$ кг/км².

Мощность передатчика должна возрастать как квадрат дальности, масса передатчика практически пропорциональна его мощности $G_{п} = k_R \cdot R^2$, где $k_R=5 \cdot 10^{-3}$ кг/км².

Общая масса $G_{д}$ электрического генератора с приводом от двигателя самолёта и радиоприёмника равна 3 кг.

Техническим заданием предусмотрено, что оптимизация оборудования должна проводиться в процессе проектирования в предположении, что все три частных критерии в нормированном виде одинаково важны.

Уравнение баланса масс будет выглядеть следующим образом

$$G_{\Sigma} = G_1 + k_0 H^2 + k_R R^2 + k_t t + G_{д} \quad (4)$$

Заказчик установил следующие минимально допустимые величины критериев: $R_{min}=10$ км; $t_{min}=1$ час.; $H_{min}=0,1$ км.

Критериями эффективности оборудования при согласовании технического задания на проектирование приняты:

- R – расстояние от самолёта до судна;
- H расстояние от самолета до поверхности моря;
- t – время полёта самолёта с имеющим запасом топлива.

По условию задачи эти критерии нужно максимизировать. Рассмотрим ограничения:

1. Уравнение баланса. $G_1 + k_0 H^2 + k_R R^2 + k_t t + G_D \leq 37$;
2. Критериальные ограничения: $R \geq 10$ км; $t \geq 1$ час.; $H \geq 0,1$ км.

Сформулируем многокритериальную задачу оптимизации: [18]

$$R \rightarrow \max; H \rightarrow \max; t \rightarrow \max;$$

ограничения:

$$G_1 + k_0 H^2 + k_R R^2 + k_t t + G_D \leq 37;$$

$$R \geq 10 \text{ км}; t \geq 1 \text{ час.}; H \geq 0,1 \text{ км.}$$

3.1.1 Алгоритм численного метода для двух критериев

Принимая во внимание введенные ограничения, приведем порядок вычислений:

1. Используя датчик случайных чисел, распределённых по равномерному закону, генерируем N пар точек (H, R) . Пусть переменная $H \in [0,1; 0,78]$, $R \in [10; 78,35]$.

$$H_i = random * (0,78 - 0,1) + 0,1, i = 1, \dots, N;$$

$$R_i = random * (78,35 - 10) + 10, i = 1, \dots, N.$$

2. Вводим ограничение о максимальном весе дрона:

$$G_1 + k_0 H^2 + k_R R^2 + k_t t + G_D \leq 37,$$

$$2 + 50 * H^2 + 0.005 * R^2 + 0,8 * 1 + 3 \leq 37,$$

$$50 * H^2 + 0.005 * R^2 \leq 33,2.$$

В результате получаем N пар чисел, и соответствующие на плоскости точки.

3. Находим пространство оценок. Для каждой пары $(H_i; R_i)$ находим соответствующие векторные оценки

$$F(H_i; R_i) = (F_1(H_i; R_i); F_2(H_i; R_i)), i = 1, \dots, N.$$
4. Строим критериальное пространство (пространство оценок), т.е. векторные оценки представляем точками координатной плоскости (по оси ординат откладываем значения локального критерия F_1 , по оси абсцисс – значения локального критерия F_2).
5. Используя определения оптимальности по Парето строим компромиссную кривую KK_N в области Y_{DN} . После этого находим паретовские точки P_N в области D_N , соответствующие точкам KK_N [2].

В результате решения поставленной задачи для двух критериев численным методом получаем множество паретовских решений и паретовских оценок:

Паретовские решения и паретовские оценки

	Номер	x1	x2
▶	1	51,0523286832275	0,39912971653935
	2	38,9213624224399	0,518674723756814
	3	41,5319942086153	0,498862133100099
	4	45,6068127026347	0,461657836400745
	5	55,0120249446305	0,344194207398311
	6	57,8539076912701	0,291455176729455
	7	53,8538230038731	0,362625460393087
	8	61,0039474625159	0,220718580261207
	9	31,4040198512161	0,566246111516955
	10	40,7245704490806	0,505881949256119

Рис. 3.1. Паретовские решения

f1	f2
51,0523286832275	0,39912971653935
38,9213624224399	0,518674723756814
41,5319942086153	0,498862133100099
45,6068127026347	0,461657836400745
55,0120249446305	0,344194207398311
57,8539076912701	0,291455176729455
53,8538230038731	0,362625460393087
61,0039474625159	0,220718580261207
31,4040198512161	0,566246111516955
40,7245704490806	0,505881949256119
50,5286314830317	0,407327028711944
55,1155043543621	0,340235123522689

Рис. 3.2. Паретовские оценки

Однако ЛПР неудобно выбирать какую-либо точку из табличных значений, поэтому необходимо визуализировать пространство оценок и компромиссную кривую [9]:



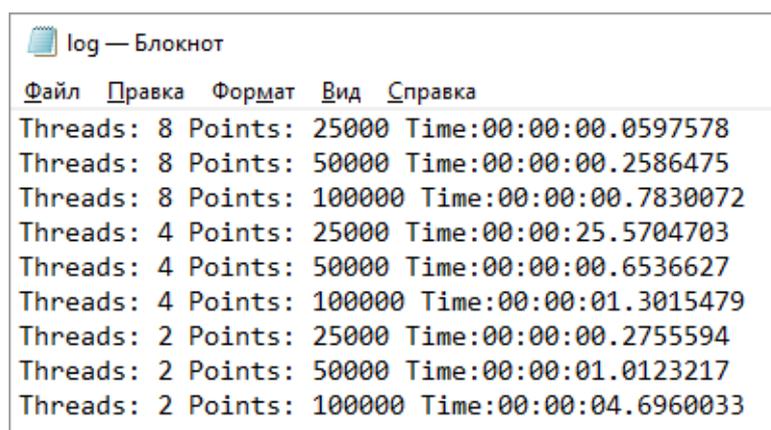
Рис. 3.3. Пространство оценок и компромиссная кривая

Ввиду того, что точек может быть очень большое количество, используется распараллеливание вычислений, имеющее следующий алгоритм: на начальном этапе (этапе инициализации) устанавливается количество

потоков, которые будут выполнять вычисления (k), границы и объем обрабатываемой выборки (N).

1. Генерация подмножества данных. На данном этапе каждый из k потоков заполняет соответствующее подмножество параметров (парами x_1, x_2) при помощи генератора псевдослучайных чисел, распределённых по равномерному закону. При этом подмножество оценок заполняется парами F_1, F_2 .
2. Нахождение подмножества Парето. После завершения первого этапа в сформировавшихся подмножествах находятся недоминируемые решения. Данные решения выделяются в отдельные подмножества.
3. Решения, полученные на предыдущем этапе (подмножества Парето-оптимальных решений) объединяются.
4. Нахождение множества Парето для множества, полученного при объединении подмножеств Парето-оптимальных решений. Данный шаг необходим для отсеивания решений, доминируемых решениями из других подмножеств.

Для оценки эффективности параллельных вычислений результаты сохраняются в отдельный файл:



```
log — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
Threads: 8 Points: 25000 Time:00:00:00.0597578
Threads: 8 Points: 50000 Time:00:00:00.2586475
Threads: 8 Points: 100000 Time:00:00:00.7830072
Threads: 4 Points: 25000 Time:00:00:25.5704703
Threads: 4 Points: 50000 Time:00:00:00.6536627
Threads: 4 Points: 100000 Time:00:00:01.3015479
Threads: 2 Points: 25000 Time:00:00:00.2755594
Threads: 2 Points: 50000 Time:00:00:01.0123217
Threads: 2 Points: 100000 Time:00:00:04.6960033
```

Рис. 3.4. Время обработки различного количества точек при разном количестве потоков

3.1.2 Построение фронта Парето для трёх критериев

Построим фронт Парето для нашей задачи. Как известно для непрерывного пространства оценок множество Парето в случае двух локальных критериев (часто называемое фронтом Парето) представляет собой его северо-восточную границу при максимизации частных критериев. Визуальное представление информации позволяет упростить анализ данных. Поэтому представляет интерес представить фронт Парето для случая трёх критериев [19].

Алгоритм построения следующий. Выбирают два критерия и значение третьего фиксируется. Строят фронт Парето. Берут новое значение третьего критерия и строится фронт Парето и т.д. Получаем трёхмерное изображение фронта Парето для трёх критериев.

Для нашей задачи основными критериями возьмём H (высота), R (расстояние), а значение критерия t (время) будем изменять с заданным шагом. В нашем случае фронт Парето определяется уравнением баланса масс, поэтому процесс нахождения упростится.

Таблица 3.1. Множество решений и оценок для трёх критериев.

Расстояние	Высота	Время
76,7116287	0,175521	1,295316
75,1566766	0,231235	1,354862
74,0745683	0,264572	1,331081
72,9086585	0,295894	1,304973
72,7934294	0,298387	1,31729
72,2854166	0,309761	1,345627
69,4078249	0,35972	1,803549
68,0518812	0,391101	1,49588
66,9354826	0,417268	1,115722
65,7412531	0,436761	1,065558
65,1060798	0,445997	1,075387
63,0822327	0,460846	1,855276

61,8464567	0,479159	1,74425
61,7594403	0,481725	1,657384
61,5575557	0,4825	1,766297
58,1479013	0,534346	1,022277
57,1450046	0,535413	1,673579
56,0972828	0,5478	1,576541
54,7083773	0,562743	1,501241
52,8847483	0,581459	1,389097
50,215379	0,5977	1,912232
49,2929464	0,59846	2,429125
44,8241599	0,636431	2,12716
41,9320253	0,661209	1,685813
38,8679792	0,675585	2,032023
38,7517444	0,67816	1,870587
31,7760314	0,722148	1,095687
23,5162255	0,746642	1,701517
20,6633802	0,756157	1,595599
13,308196	0,772912	1,556058

На рис. 3.5. представлены результаты построения трёхмерного фронта Парето с указанием двух оптимальных решений.

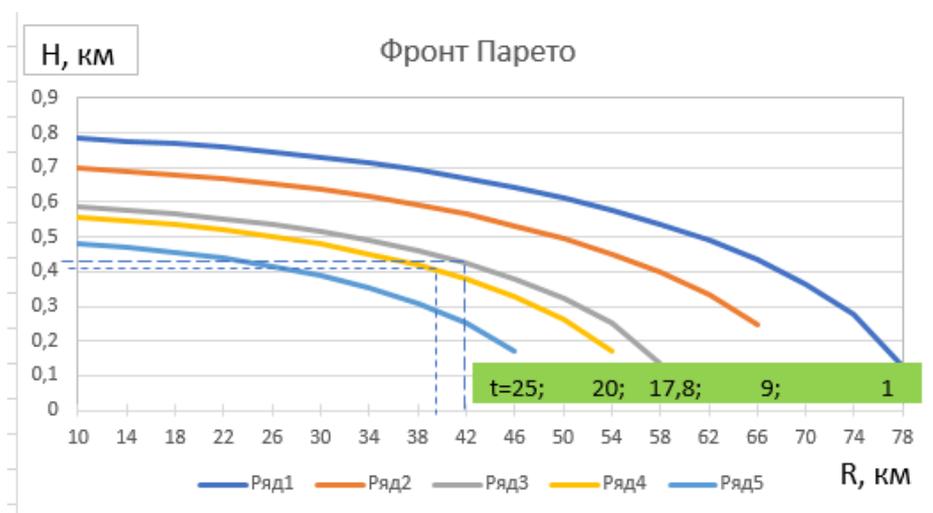


Рис. 3.5. Фронт Парето в разные отрезки времени

3.1.3 Использование обобщённых критериев для решения МЗО

Как было замечено выше на основе полученных данных, ЛПР выбирает решение сам, используя свой опыт и знания, или привлекает методы, которые позволяют сократить паретовское множество. Например, использовать обобщённые критерии оптимальности, которые позволяют получить единственное решение, но они требуют, чтобы компромиссная кривая была выпуклой.

Согласно исходным данным задачи компромиссная кривая является выпуклой, поэтому можно использовать обобщённые критерии.

3.1.3.1 Мультипликативный критерий

Используя мультипликативный критерий оптимальности, мы получим следующую однокритериальную задачу оптимизации [20]:

$$F_m(R, H, t) = R \cdot H \cdot t \rightarrow \max;$$

при ограничениях:

$$G_I + k_0 H^2 + k_R R^2 + k_T t + G_D \leq 37;$$

$$R \geq 10 \text{ км}; t \geq 1 \text{ час.}; H \geq 0,1 \text{ км.}$$

При решении задачи эти критерии должны быть больше указанных ограничений:

$$R_{\text{opt}} = 40,00 \text{ км}; H_{\text{opt}} = 0,40 \text{ км}; t_{\text{opt}} = 20,00 \text{ час.}$$

3.1.3.2 Аддитивный критерий оптимальности.

Целевая функция аддитивного критерия имеет следующий вид:

$$f(X) = \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(X), \quad (5)$$

где λ_i – весовые коэффициенты; f_i – нормированные частные критерии.

В качестве нормирующих делителей возьмём максимальные значения критериев, достигаемых в области существования проектных решений (область D). Для определения нормирующих делителей будем использовать уравнение баланса масс (4). Найдем R_{max} из условия, что $H_{\text{min}}=0,1\text{км}; t_{\text{min}}=1 \text{ час};$

Найдем H_{max} из условия, что $R_{\text{min}}=10\text{км}; t_{\text{min}}=1 \text{ час};$ найдем R_{max} из условия, что $H_{\text{min}}=0,1\text{км}; t_{\text{min}}=1 \text{ час}$ и найдем t_{max} из условия, что $H_{\text{min}}=0,1\text{км};$

$R_{\min}=10$ км. В результате вычислений получим следующие данные: $R_{\max}=78,36$ км; $H_{\max}=0,78$ км; $t_{\max}=38,74$ час.

Таким образом, мы получили следующую задачу оптимизации:
найти максимум функции

$$f(H, R, Y)=H/0,78+R/78,36+t/38,74;$$

при ограничениях

$$G_I+k_0H^2+k_R R^2+k_T t+G_D \leq 37;$$

$$R \geq 10 \text{ км}; t \geq 1 \text{ час.}; H \geq 0,1.$$

Таким образом, при вычислении максимального расстояния от дрона до корабля, нужно использовать минимальное допустимое значение высоты полёта, в обратном случае – максимальную высоту при минимальном расстоянии.

3.1.3.3 Кооперативный подход. Арбитражная схема Нэша.

В теории игр при кооперативном подходе предполагается, что игроки могут общаться в процессе игры и принимать согласованные действия, используя совместные стратегии. Когда сотрудничество разрешено, игроки могут согласованно выбрать такую совместную стратегию, которая являлась бы наилучшей для обоих. Это выбор облегчается отбрасыванием стратегий, которые доминируются другими стратегиями. Отказ от доминируемых стратегий приведёт к тому, что разумными являются только стратегии, принадлежащие множеству Парето, которое в данном случае является *переговорным множеством*.

Нейман и Моргенштерн считали, что само переговорное множество (множество Парето) является решением, т.е. анализ игры заканчивается после выделения переговорного множества, а выбор конкретной совместной стратегии остаётся на совести игроков. Они вправе вести любые переговоры: торговаться, угрожать – эти проблемы остаются за пределами математики [19].

Концепция справедливого решения предполагает, что игроки до начала игры договариваются о некоторых принципах справедливости.

Для того чтобы вынести решение в конкретной игре, арбитрам должны быть известны:

- вид платёжного множества K (в нашем случае это пространство оценок Y_D);
- точка status quo (в наше случае минимальные значения частных критериев);
- выбор функции, которая давала бы решение

$$(y_{1opt}, y_{2opt}) = f(Y_D, F_{1min}, F_{2min}) \quad (6)$$

Эта функция описывается следующим алгоритмом:

- 1) Начало координат переносится в точку status quo;
- 2) $F_{11}=F_1-F_{1min}$; $F_{21}=F_2-F_{2min}$;
- 3) Из точек платёжного множества выбирается та, у которой максимально произведение координат в новой системе:
- 4) $F_{11} * F_{21} \rightarrow \max$.

Арбитражное решение Нэша может быть использовано для решения задачи многокритериальной оптимизации для случая, когда критерии являются несравнимыми между собой (в частности, когда невозможно нахождение локального коэффициента замещения). В этом случае в качестве точки status quo выступает точка, координатами которой являются минимально допустимые значения критериев [20].

Решим эту задачу с использованием схемы Нэша.

$$f_m(R, H, t) = (R-10) * (H-0,1) * (t-1) \rightarrow \max;$$

при ограничениях:

$$G_I + k_0 H^2 + k_R R^2 + k_T t + G_D \leq 37; R \geq 10 \text{ км}; t \geq 1 \text{ час.}; H \geq 0,1 \text{ км.}$$

Решение: $R_{opt}=42,08$; $H_{opt}=0,42$; $t_{opt}=17,87$.

Следовательно, при использовании схемы Нэша у нас изменились оптимальные значения частных критериев: произошло увеличение высоты и дальности на 5,2%; но уменьшилось время полёта на 10,7%.

4 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРЕТОВСКИХ РЕШЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ

Разработка предназначена для определения парето-оптимальных решений в случае использования двух критериев оптимизации, при этом пространство решений и пространство оценок представляются графически в виде плоскостей.

Программа позволяет пользователю вводить математические функции, задающие область определения и критерии оптимизации. Также пользователь указывает границы области генерации случайных координат в пространстве решений и количество генерируемых точек.

После генерации заданного числа случайных точек выполняется исключение доминированных решений и отображение оптимальных с использованием автоматического масштабирования. Пользователь может просмотреть информацию о конкретном решении, выделив интересующую его точку, при этом отобразятся оценки критериев и исходные данные решения.

4.1 Выбор средств реализации

Существует множество разнообразных языков программирования и сред разработки к ним, однако основная часть программ создается лишь с использованием нескольких наиболее популярных из них [20].

Microsoft Visual Studio - интегрированная среда разработки, созданная компанией Microsoft и включающая средства разработки для различных платформ, в том числе для платформы .NET Framework.

Платформа .NET Framework была выпущена компанией Microsoft в 2002 году. Платформа основана на использовании среды исполнения Common Language Runtime, способной работать с различными языками программирования. Функциональные возможности CLR доступны для использования в любых использующих среду языках программирования.

Программа для .NET Framework, написанная на любом поддерживаемом средой языке программирования, вначале преобразуется компилятором в общий для .NET Framework промежуточный байт-код, образуя сборку. Затем код либо исполняется виртуальной машиной Common Language Runtime, либо транслируется утилитой NGen.exe в исполняемый код, предназначенный для конкретного целевого процессора. При использовании виртуальной машины CLR, встроенный в неё компилятор промежуточный байт-код в машинные коды нужного процессора. Современная технология динамической компиляции позволяет достичь высокой производительности и повысить быстродействие. Виртуальная машина CLR также сама заботится о безопасности, обработке исключений, управлении памятью и избавляет разработчиков от части работы.

C# - объектно-ориентированный язык программирования, разработанный Microsoft для создания приложений, предназначенных для платформы Microsoft .NET Framework. При создании C# использован опыт применения ряда более ранних языков, в особенности C++ и Java. Он относится к языкам с C-подобным синтаксисом [22].

В основу работы с C# положено объектно-ориентированное программирование, безопасность кода и строгая типизация. В отличие от предшественников, в нем не поддерживаются глобальные функции и переменные и сведено к минимуму неявное приведение типов. По умолчанию отключено и не рекомендовано использование указателей и других путей прямого доступа к памяти, которое сводит на нет многие преимущества работы с CLR и нарушает стабильность работы программ.

C# включает в себя большое количество расширений, обеспечивающих взаимодействие с множеством других систем и сред, начиная с практически всех продуктов самой Microsoft и заканчивая программными пакетами сторонних разработчиков. Включены средства, позволяющие подключение сторонних библиотек, использующих другие языки программирования.

Система .NET Reflection значительно расширяет возможности программирования на C#, в частности позволяя обойти недостатки применения строгой типизации.

Также .NET Framework включает в себя механизм, называемый «моделью объектов документов кода» - CodeDOM, позволяющий генерировать исходный код на нескольких языках. Кроме того, он позволяет генерировать и компилировать программный код непосредственно во время выполнения программы, предоставляя разработчикам необычайно гибкий и универсальный инструмент [23].

Графическая интерпретация выполняется при помощи библиотеки OxyPlot.

4.2 Нахождение оптимальных решений и распараллеливание

Алгоритм, реализующий главную функцию программы, использует для работы список точек, сгенерированных на основе введенных данных. Каждое решение представляется объектом, содержащим информацию о координатах в пространстве решений и вычисленных значениях оценок. На первом шаге выполняется сортировка списка по значениям одной из оценок, позволяя автоматически минимизировать ее для рассматриваемых решений. Затем производится перебор и последовательное сравнение элементов по значениям второй оценки. Для исключения доминированных решений достаточно простого отбрасывания всех элементов, в которых вторая оценка оказывается больше, чем у предыдущих. Весь объём точек при этом разбивается на несколько подмножеств, каждое из которых обрабатывается с использованием отдельного потока, а потом все полученные множества объединяются.

Данный подход обеспечивает высокую скорость работы при проверке значительного количества случайных решений, однако имеет ряд недостатков. Поскольку проверка отбрасывает все доминируемые точки, получаемый фронт Парето не повторяет действительную границу области оценок, и, при наличии локальных оптимумов, в результате аппроксимации результатов кривая

пройдет через область, в действительности являющуюся недостижимой. По этой причине, выбор решений должен производиться исключительно на основе экспериментальных точек, а не результатов аппроксимации. Однако данный результат является достаточным для требуемой функциональности.

4.3 Структура программы

При программировании соблюдались принципы ООП. Программа содержит основную форму с 4 вкладками: панель установки условий и входных данных, таблица решений и критериальных оценок, панель пространства решений и пространства оценок, а также форму «О программе» и сохранение в отдельный файл результатов анализа влияния многопоточности на скорость вычислений. Программа состоит из 5 модулей:

- Вычислительный модуль;
- модуль интерпретации данных решений и оценок;
- модуль графического отображения точек на множестве решений;
- определитель паретовских решений в пространстве оценок;
- модуль вывода результатов оценки распараллеливания работы программы.

4.4 Результаты работы

В результате работы было реализовано приложение, позволяющее создавать графические интерпретации нахождения Парето-оптимальных решений, позволяющие анализировать значимость критерия и возможность его изменения без потерь по другим параметрам. Также было продемонстрировано влияние распараллеливания вычислений на увеличение скорости работы программы. Листинг разработанной программы приведён в приложении А.

На рисунках 4.1 – 4,10 показаны скриншоты, иллюстрирующие работу программы.

Pareto Efficiency

Файл Вывод многопоточности О программе

Ввод данных Множество решений Пространство оценок

Параметры

Количество точек

Количество потоков

Функция 1

Функция 2

Ограничения

$\leq R \leq$

$\leq H \leq$

$\leq T \leq$

Рис. 4.1 – Установка условий многокритериальной оптимизации

Паретовские решения и паретовские оценки

	Номер ▲	x1	x2
▶	1	51,510013730526	0,394413980848349
	2	14,8800500399107	0,629518408146463
	3	55,0094130476515	0,344912199454807
	4	50,6445710573786	0,401913090619218
	5	62,9221862164196	0,146785619057149
	6	49,9495063870677	0,412318046014904
	7	36,972425866347	0,532257090821982
	8	63,9577370868799	0,102197646276186
	9	40,8594352720116	0,504750963060535
	10	35,7517998646953	0,541558049340527
	11	26,0620449947482	0,59170880456069
	12	30,2714298928489	0,572460319601214
	13	63,5671514670444	0,125792414334506
	14	39,8311179713491	0,512856708696511
	15	59,7362003096781	0,252980974555472
	16	51,7520664603226	0,390090305903037
	17	63,8511363420175	0,112969459636588
	18	61,9341246192037	0,185200732818433

Рис. 4.2 – Паретовские решения для двумерного случая

f1	f2
51.510013730526	0.394413980848349
14.8800500399107	0.629518408146463
55.0094130476515	0.344912199454807
50.6445710573786	0.401913090619218
62.9221862164196	0.146785619057149
49.9495063870677	0.412318046014904
36.972425866347	0.532257090821982
63.9577370868799	0.102197646276186
40.8594352720116	0.504750963060535
35.7517998646953	0.541558049340527
26.0620449947482	0.59170880456069
30.2714298928489	0.572460319601214
63.5671514670444	0.125792414334506
39.8311179713491	0.512856708696511
59.7362003096781	0.252980974555472
51.7520664603226	0.390090305903037
63.8511363420175	0.112969459636588

Рис. 4.3. Паретовские оценки для двумерного случая

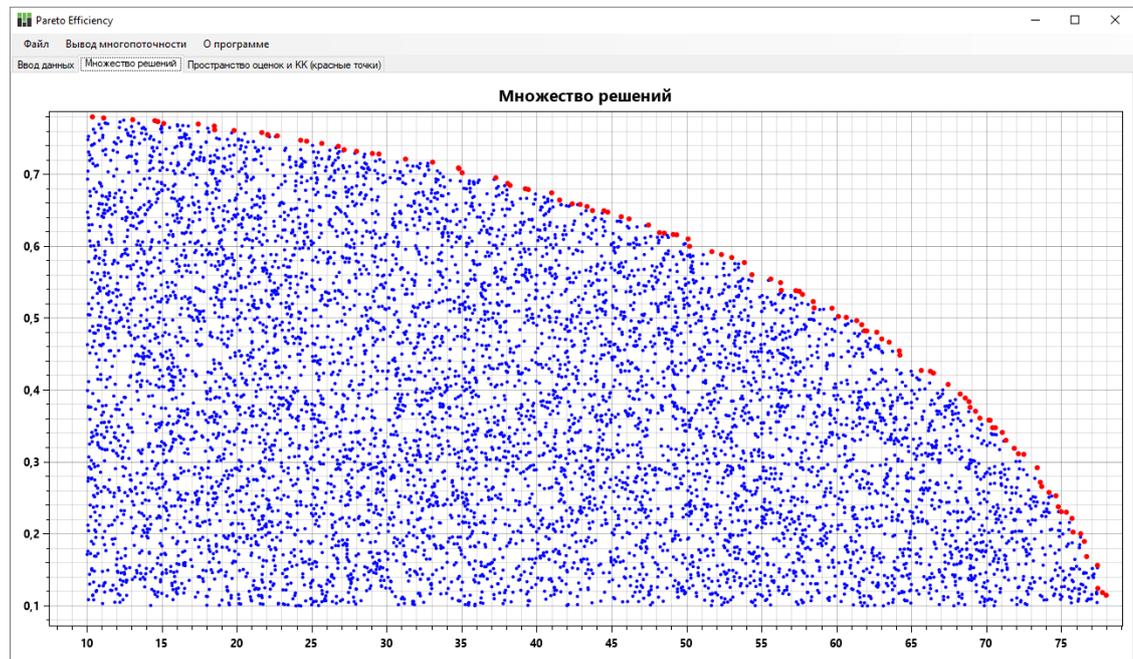


Рис. 4.4 – Множество решений. Паретовские решения – красные точки

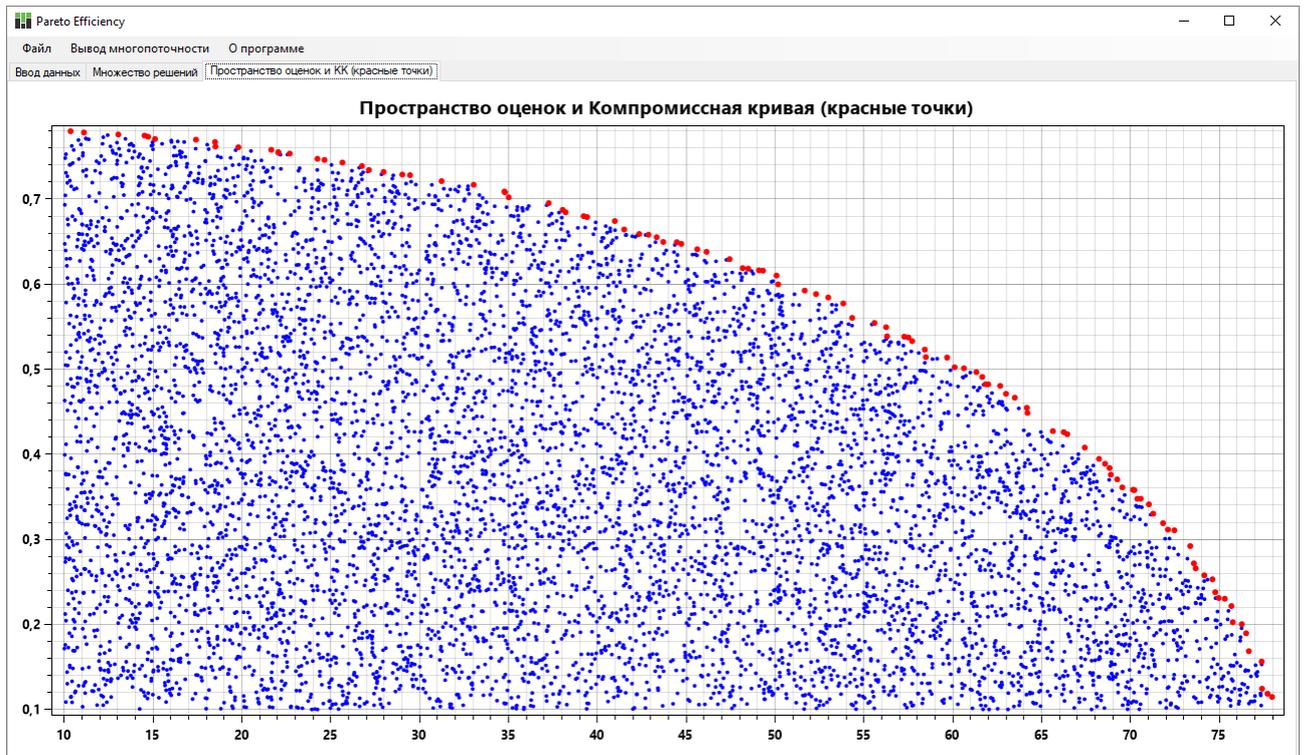


Рис. 4.5 – Пространство оценок и КК

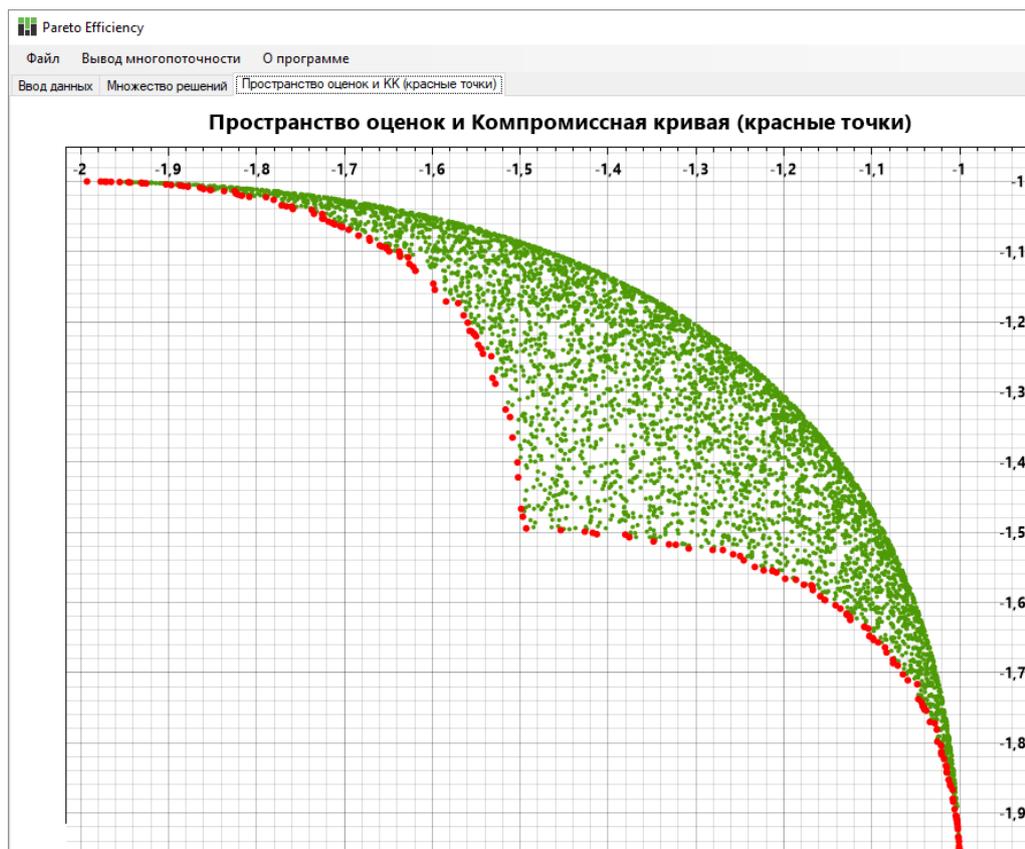


Рис. 4.6 – Нахождение парето-оптимальных точек в случае невыпуклого фронта Парето

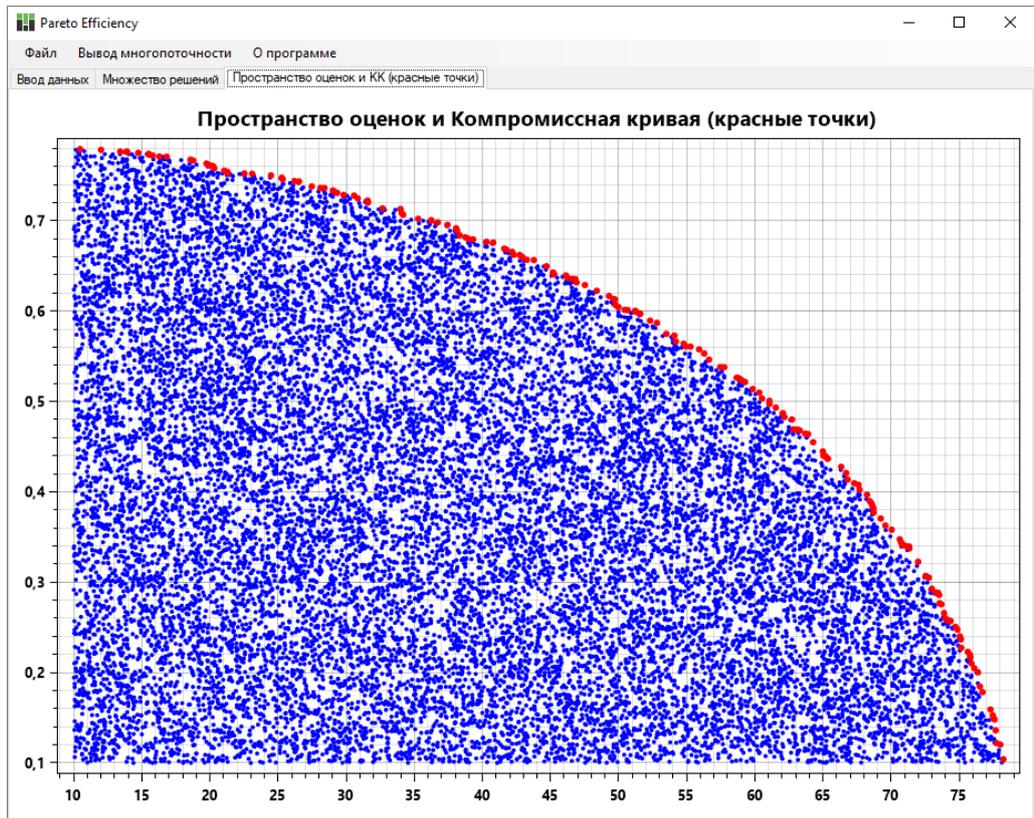


Рис. 4.7. Паретовские решения для $N=25000$ точек

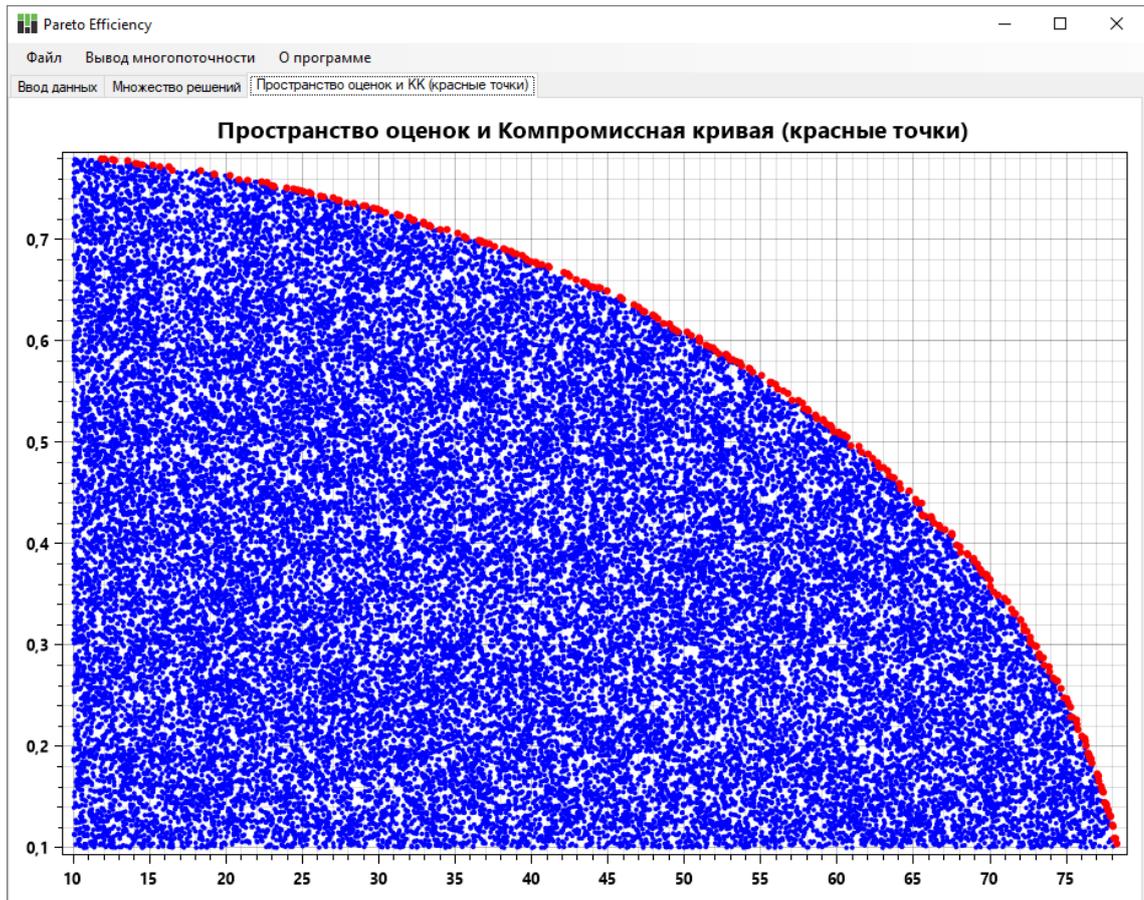


Рис. 4.8. Паретовские решения для $N=50000$ точек

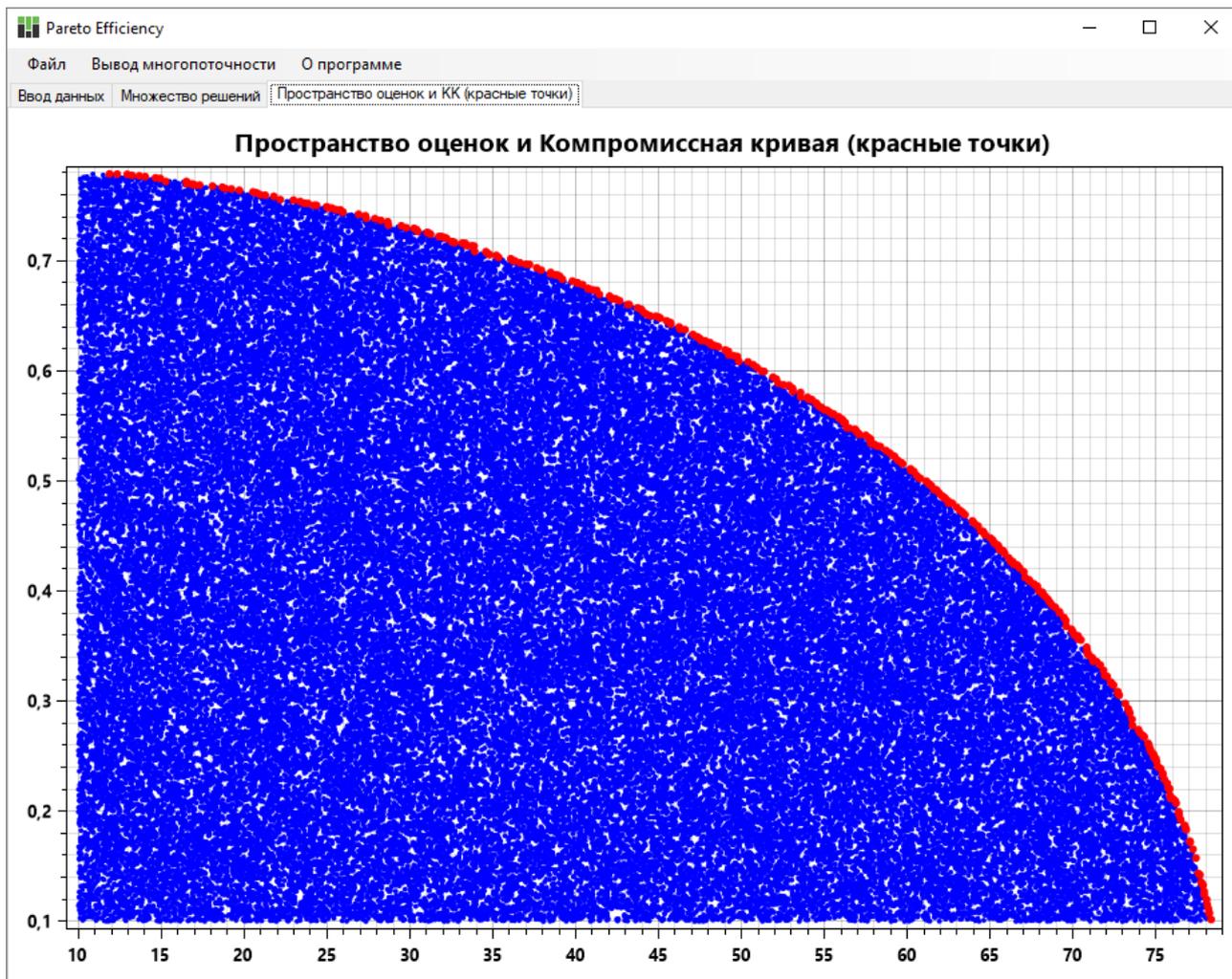


Рис. 4.9. Паретовские решения для $N=100000$ точек

```

log — Блокнот
Файл  П_равка  Формат  В_ид  С_правка
Threads: 8 Points: 25000 Time:00:00:00.0597578
Threads: 8 Points: 50000 Time:00:00:00.2586475
Threads: 8 Points: 100000 Time:00:00:00.7830072
Threads: 4 Points: 25000 Time:00:00:25.5704703
Threads: 4 Points: 50000 Time:00:00:00.6536627
Threads: 4 Points: 100000 Time:00:00:01.3015479
Threads: 2 Points: 25000 Time:00:00:00.2755594
Threads: 2 Points: 50000 Time:00:00:01.0123217
Threads: 2 Points: 100000 Time:00:00:04.6960033

```

Рис. 4.10. Вывод зависимости ускорения вычислений от количества потоков

На рисунке 4.1 продемонстрировано, какие различные условия оптимизации можно установить: критериальные, функциональные и параметрические ограничения, синтаксис для ввода формул, количество используемых потоков при распараллеливании.

На рисунках 4.2 – 4.3 демонстрируются паретовские решения и оценки, найденные численным методом. Рисунок 4.4 – Парето-оптимальные точки, графическое отображение множества решений, удовлетворяющих поставленным условиям.

Рисунок 4.5 демонстрирует компромиссную кривую – т.е. те значения высоты и расстояния полёта дрона, при которых не приходится жертвовать одним критерием в угоду другому. Также на рисунке 4.6 показано, что численный метод является универсальным, т.к. даёт возможность получить компромиссную кривую даже для случаев с невыпуклым фронтом Парето.

Рисунки 4.7 – 4.10 демонстрируют, насколько повышается точность нахождения оптимальных решений при увеличении количества точек в области решений и насколько улучшается скорость вычислений при обработке с помощью нескольких потоков.

Для оценки эффективности параллельных вычислений подсчитано время работы программы при использовании разного количества потоков и разного количества точек множества N. Результаты тестов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Среднее время работы алгоритма (в секундах)

Число потоков	Число точек				
	100	1000	10000	50000	100000
1	0,000559	0,00201	0,080431	3,253236	11,45342
2	0,000423	0,001121	0,026542	0,698935	4,003241
4	0,000430	0,000889	0,015033	0,245624	1,232394
8	0,000420	0,000796	0,009014	0,132533	0,632441
16	0,000674	0,000798	0,006765	0,098832	0,394543
32	0,000504	0,000903	0,006096	0,073431	0,273349

Полученные данные дают предельно понятную информацию о том, что при малом количестве точек практически неважно, какое количество потоков задействовано. Однако известно, что на больших предприятиях и больших вычислительных супер кластерах счёт идёт на гораздо большее количество элементов, поэтому очевидно, что использование нескольких потоков повышает эффективность работы в десятки раз. Можно наглядно наблюдать на рисунке 4.11, что ускорение неравномерно, т.е. выполнение на 16 потоках даёт большее ускорение, чем на 32 потоках.

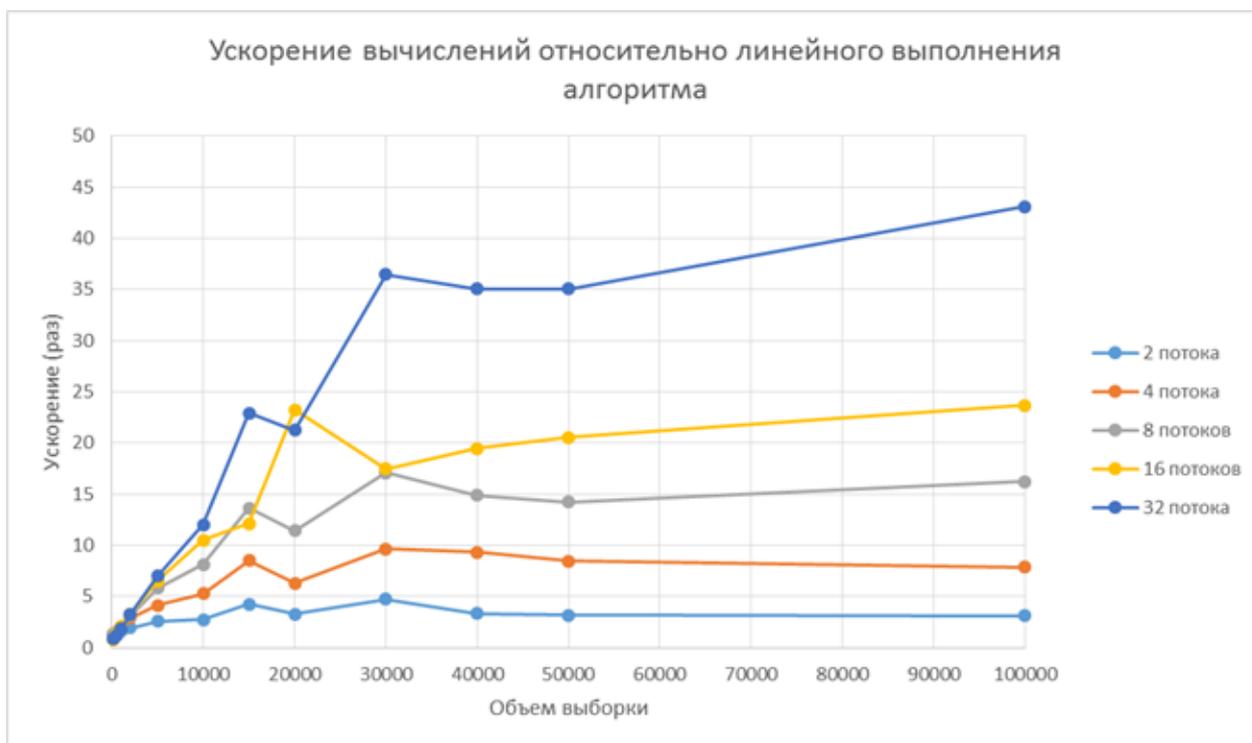


Рис. 4.11. Зависимость ускорения вычислений от количества потоков

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

При разработке научно-технического проекта одним из важных этапов является его технико-экономическое обоснование. При помощи него можно выделить преимущества и недостатки разработки данного программного продукта в разрезе экономической эффективности, социальной значимости и других аспектов.

Целью выполнения данного раздела является аналитический обзор и расчет затрат на разработку приложения для определения Паретовских решений с использованием параллельных вычислений.

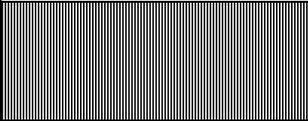
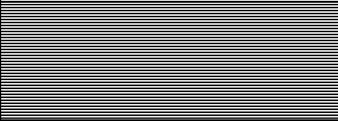
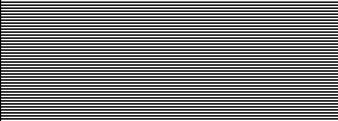
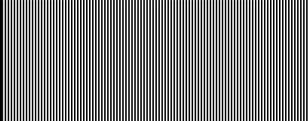
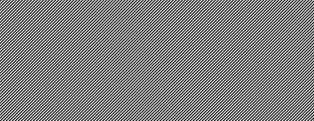
Поставленные задачи для данного раздела: оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, определить возможные альтернативы проведения дальнейших исследований, провести планирование научно-исследовательской работы, а также оценить ресурсную, финансовую и экономическую эффективности исследования.

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

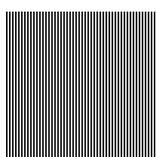
Конечным потребителем результатов исследований является отделение информационных технологий. Однако, при использовании приложения коммерческими организациями или физическими лицами необходимо составить карту сегментирования, используя соответствующие критерии.

Таблица 5.1. Карта сегментирования рынка услуг по разработке программного обеспечения для оптимизации вычислений

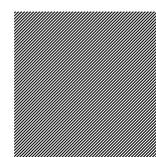
		<i>Вид деятельности</i>		
		Научные исследования	Экономика	Игровая индустрия
<i>Область интересов</i>	Защита информации			
	Облачные сервисы			
	Веб-разработка			



Amazon



Kaspersky Lab



Valve Corp.

Из таблицы 5.1 можно убедиться, что такие сегменты, как использование облачных вычислений в игровой индустрии и научных исследованиях относительно мало заняты и уровень конкуренции в этих областях низок. Предприятие имеет возможность ориентироваться на веб-разработку экономических проектов, а также проектов, связанных с игровой индустрией и облачными вычислениями.

5.1.2 Исследование целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект

Для определения целесообразности инвестирования в реализацию проведенных исследований была использована технология Quad (Quality Advisor). Для анализа результатов выделим ряд наиболее важных характеристик проектов такого рода и их показателей. Результаты проведенного сравнения выбранных показателей представлены в таблице 5.2.

Оценка качества и перспективности по технологии Quad определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i \times B_i,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя. Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 80 до 100, то такая разработка считается перспективной. Если от 60 до 79 – то перспективность выше среднего. Если от 40 до 59 – то перспективность средняя. Если от 20 до 39 – то перспективность ниже среднего.

Таблица 5.2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия (В)	Баллы (Б)	Макс. значение	Относит. значение	Средневзвешенное значение (P_{cp})
1	2	3	4	5 (3/4)	(5x2)
Показатели оценки качества разработки					
Надежность	0,09	70	100	0,7	6,3
Дизайн приложения	0,4	60	100	0,6	24
Потребность в ресурсах памяти	0,05	95	100	0,95	4,75
Функциональные возможности	0,02	60	100	0,6	1,2
Скорость работы	0,03	45	100	0,45	1,35
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность продукта	0,1	55	100	0,55	5,5
Уровень проникновения на рынок	0,04	10	100	0,1	0,4
Перспективность рынка	0,1	50	100	0,5	5
Цена	0,15	75	100	0,75	11,25

Послепродажное обслуживание	0,01	60	100	0,6	0,6
Наличие сертификации разработки	0,01	5	100	0,05	0,05
Итого	1	585	1100	5,85	60,4

Таким образом, по результатам применения технологии Quad, можно считать, что перспективность, созданного в рамках выполнения ВКР программного обеспечения для определения Паретовских решений выше среднего, так как значение средневзвешенной оценки больше 60%.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ заключается в выявлении сильных и слабых сторон проекта, возможностей для дальнейшего развития и угроз существованию и развитию; направлен на исследование внутренней и внешней среды проекта.

Составим итоговую матрицу SWOT-анализа, представленную в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Проект уникальный и конкуренты отсутствуют. С2. Высококвалифицированный персонал. С3. Перспективный с точки зрения инвестирования проект. С4. Унифицированность разработки.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложность быстрого внедрения. Сл2. Отсутствие своевременного финансирования. Сл3. Довольно узкая специализация и область применения разработки. Сл4. Низкая скорость отклика приложения при удаленной работе.</p>
<p>Возможности: В1. Появление дополнительного спроса на данный продукт. В2. Широкий спектр применения данной разработки в институтах. В3. Возможность использования контекстной информации для привлечения посетителей</p>	<p>Уникальность проекта и отсутствие конкурентов определяет перспективы проекта. Данные перспективы отражены в возможности внедрения данного модуля в программное обеспечение на сайты институтов других вузов.</p>	<p>Отсутствие своевременного финансирования, а также снижение спроса на данную технологию поставки могут помешать продвижению разработки и привлечению дополнительных средств с других источников для развития проекта. Подобное снижение может отодвинуть дату начала проекта или вовсе закрыть его.</p>
<p>Угрозы: У1. Возможность снижения спроса на технологию.</p>	<p>В условиях нынешней конкуренции в разработке, возможны трудности с</p>	<p>При недостаточном финансировании разработки могут занять большее время,</p>

УЗ. Снижение спроса в связи с появлением более простых в применении технологий.	продвижением продукта. Так же усложняет ситуацию необходимость придерживаться некоторых условий для инициализации приложения.	что приведёт к снижению спроса, в виду появления конкурентных разработок. Помимо этого, разработки конкурентов могут стать более привлекательными для покупателя, что приведёт к снижению спроса и потере доверия потребителя.
---	---	--

Из вышеприведенной таблицы можно сделать следующий вывод: уникальность продукта и возможность его внедрения в уже используемое программное обеспечение может обеспечить успех проекту, но при соблюдении условий своевременного финансирования проекта и небольшого времени разработки относительно конкурентов.

5.2 Определение возможных альтернатив проведения исследований

Воспользуемся морфологическим подходом для определения возможных альтернатив проведения исследования. Упомянутый подход предполагает точную формулировку проблемы исследования, раскрытие важных морфологических характеристик объекта исследования и раскрытие вариантов по каждой характеристике. Составим морфологическую матрицу для определения морфологических характеристик объекта исследования.

Таблица 5.4. Альтернативные варианты проведения исследований

	1	2	3
А. Название систем	Eclipse IDE	Python (x,y)	Microsoft Visual Studio 17
Б. Возможность дополнения функционала	отлично	хорошо	нет
В. Удобство повседневной разработки	хорошо	хорошо	хорошо
Г. Кроссплатформенность	отлично	хорошо	удовлетворительно

Можно составить несколько вариантов исполнения задачи:

- 1) АЗБ1В1Г2
- 2) А1Б1В3Г1
- 3) А2Б2В2Г2

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика научных исследований.

Рабочая группа, выполняющая научные исследования, состоит из двух человек: научного руководителя, непосредственного исполнителя – студента.

Таблица 5.5. Перечень работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1	Выбор темы ВКР	Руководитель, студент
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Формирование возможных решений поставленной задачи, выбор оптимального решения	Руководитель, студент
Основной этап	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	5	Описание мероприятий по социальной ответственности	Студент Консультант
	6	Описание ресурсоэффективности и ресурсосбережения разработки	Студент Консультант
	7	Оценка полученных результатов исследований	Руководитель, студент
	8	Определение целесообразности проведения исследований	Руководитель, студент

Заключительный этап	9	Составление отчета	Студент
	10	Защита ВКР	Студент

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{махи}}{5},$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{махи}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В 2018 году 365 дней; из них 118 выходных и праздничных дней. Коэффициент календарности рассчитаем следующим образом.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478 \approx 1,48.$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Результаты расчетов сведем в таблицу 5.6.

На основе полученных данных, отраженных в таблице 5.6, строится календарный план график. Берется то исполнение, которое требует минимальное количество человеко-дней.

Таблица 5.6. Расчет трудоемкости выполняемых работ

Этап	Продолжительность работ, дни									Исполнитель	Длительность работ, чел/дн.					
	t_{min}			t_{max}			$t_{ож}$				T_p			T_k		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Выбор темы ВКР	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	НР	1,4	1,4	1,4	2	2	2
	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	С	3,4	3,4	3,4	5	5	5
Подбор и изучение материалов по теме	5	6	6	3	4	4	4,2	5,2	5,2	С	4,2	5,2	5,2	6	8	8
Формирование возможных решений поставленной задачи, выбор оптимального решения	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	НР	2,4	2,4	2,4	4	4	4
	3	4	5	4	5	6	3,4	4,4	5,4	С	3,4	4,4	5,4	5	7	8
Проведение теоретических расчетов и обоснований	5	7	7	6	8	8	5,4	7,4	7,4	С	5,4	7,4	7,4	8	11	11
Описание мероприятий по социальной ответственности	10	14	15	11	15	16	10	14	15	С	10	14	15	15	21	23
Описание ресурсоэффективности и ресурсосбережения разработки	2	3	3	2	2	2	2	2,6	2,6	К	2	2,6	2,6	3	4	4
	3	3	3	3	4	4	3	3,4	3,4	С	3	3,4	3,4	4	5	5
Оценка полученных результатов исследований	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	НР	1,4	1,4	1,4	2	2	2
	2	1	1	2	1	1	2	1	1	С	2	1	1	3	1	1
Составление отчета	7	5	6	8	9	9	7,4	6,6	7,2	С	7,4	6,6	7,2	11	10	11
Защита ВКР	10	5	7	13	8	9	11	6,2	7,8	С	11	6,2	7,8	17	9	12
Итого:											58	60	64	85	89	96

5.3.3 Составление календарного план-графика работ

На основании расчетов трудоемкости проводимых исследований в различных исполнениях построим календарный план-график наиболее трудоемкого

исполнения. Прямоугольниками со штриховкой будем обозначать трудозатраты студента, прямоугольниками без штриховки – трудозатраты научного руководителя.

Таблица 5.7. Календарный план-график работ

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				март		апрель			май			июнь			июль		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Выбор темы ВКР	НР	2														
		С	5														
2	Подбор и изучение материалов по теме	С	8														
3	Формирование возможных решений поставленной задачи, выбор оптимального решения	НР	4														
		С	8														
4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С	11														
5	Описание мероприятий по социальной ответственности	С	23														
6	Описание ресурсоэффективности и ресурсосбережения разработки	К	4														
		С	5														
7	Оценка полученных результатов исследований	НР	2														
		С	1														
8	Определение целесообразности проведения исследований	С	11														
9	Составление отчета	С	12														

5.3.4 Бюджет научно-технического исследования

При проектировании бюджета научно-технического исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Таблица 5.8. Материальные затраты

Наименование	Ед.изм.	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Персональный ноутбук	шт.	1	1	1	25000	32000	36000	25000	32000	36000
Флэш-карта	шт.	1	1	1	500	1000	2000	500	1000	2000
Итого								25500	33000	38000

5.3.4.2 Расчет основной и дополнительной заработной платы

В рамках реализации проекта руководитель и исполнитель получают заработную плату.

Расчет заработной платы производится исходя из действительного годового фонда рабочего времени (таблица 5.9), оклада работника и длительности работ по двум исполнениям.

Таблица 5.9. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Разработчик
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
выходные дни	104	104
праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
отпуск	28	28
невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219

Согласно таблице окладов ППС и НС, оклад доцента без научной степени составляет 14584,32 руб., оклад разработчика – 6976,22 руб. без учета районного коэффициента.

С учетом районного коэффициента, равного 30% от оклада, получается месячная заработная плата:

$$Z_{м}^{рук} = 14584,32 * 1,3 = 18959,6(\text{руб}),$$

$$Z_{м}^{раз} = 6976,22 * 1,3 = 9069,1(\text{руб}).$$

Зная месячную заработную плату каждого участника проекта, можно рассчитать соответствующую среднедневную заработную плату. Количество месяцев работы без отпуска принимается равным 10,4 (считается отпуск длиной 48 рабочих дней при 6-дневной рабочей неделе):

$$Z_{дн}^{рук} = \frac{18959,6 * 10,4}{219} = 900 \text{ (руб)},$$

$$Z_{дн}^{раз} = \frac{9069,1 * 10,4}{219} = 431(\text{руб}).$$

Основная заработная плата работника – произведение среднедневной зарплаты на количество рабочих дней, затраченных на реализацию проекта, по трём исполнениям. Результаты расчетов приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10. Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	З _{тс} , руб.	k _p	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _p , раб. дни			З _{осн} , руб.		
					Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	14584,32	1,3	18959,6	900	6	7	7	5400	6300	6300
Исполнитель	6976,22		9069,1	431	52	53	57	22412	22843	24567
Итого:								29935,2	31368,6	33223,8

С учётом основной заработной платы, можно посчитать дополнительную заработную плату в размере 15% от основной, и на основе полученных результатов рассчитать полную заработную плату (таблица 5.11).

Таблица 5.11. Расчет полной заработной платы

Исполнитель	З _{осн} , руб.			З _{доп} , руб.			З _{зп} , руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	5400	6300	6300	810	945	945	6210	7245	7245
Исполнитель	22412	22843	24567	3361,8	3426,5	3685,1	25773,8	26269,45	28252,5
Итого:				4171,8	4371,5	4630,1	34424,8	36074	38207

5.3.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Здесь 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.

Отчисления рассчитываются, как основная и дополнительная заработная плата сотрудника, умноженная на коэффициент отчислений. Для работников научно-образовательных учреждений данный коэффициент устанавливается равным 27,1%.

Результаты расчета отчислений во внебюджетные фонды сводится в таблицу 5.12.

Таблица 5.12. Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Исполнитель	З _{зп} , руб.			З _{внеб.} , руб.			З _и , руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	6210	7245	7245	1682,91	1963,4	1963,4	7892,91	9208,4	9208,4
Исполнитель	25773,8	26269,5	28252,5	6984,7	7119	7656,4	32758,5	33388,5	35908,9
Итого:							40651,41	42596,9	45116,9

5.3.4.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} \div 4) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 50%.

Результат вычислений представлен в таблице 5.13.

Таблица 5.13. Накладные расходы

Сумма статей, руб.			Накладные расходы, руб.		
Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
66151,41	75596,9	83116,9	8268,93	9449,61	10389,61

5.3.4.5 Формирование бюджета НИИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) 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 5.14.

Таблица 5.14. Формирование бюджета НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	25500	33000	38000
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	29935,2	31368,6	33223,8
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4171,8	4371,5	4630,1
4. Отчисления во внебюджетные фонды	8667,61	9082,4	9619,8
5. Накладные расходы	8268,93	9449,61	10389,61
6. Бюджет затрат НТИ	76543,54	87272,11	95863,31

Исходя из результатов расчета первый вариант исполнения проекта оказался наименее затратным.

5.4 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$\Phi_{\text{max}} = 129755$ (руб.) – стоимость самого дорогого исполнения.

Тогда интегральный финансовый показатель для каждого исполнения:

$$\Phi_{\max}^1 = \frac{76543,54}{95863,31} = 0,8,$$

$$\Phi_{\max}^1 = \frac{87272,11}{95863,31} = 0,91,$$

$$\Phi_{\max}^1 = \frac{95863,31}{95863,31} = 1,$$

Исходя из полученных расчетов можно сказать, что исполнение 1 приводит к удешевлению разработки в 0,8 раза, исполнение 2 – в 0,91 раза, а исполнение 3 – никак не влияет на стоимость разработки.

Для расчета интегрального показателя ресурсоэффективности используется сравнительная характеристика вариантов исполнения проекта (таблица 5.15).

Таблица 5.15. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Удобство в эксплуатации (соответствует потребителям)	0,20	4	3	5
Ресурсоемкость	0,10	5	3	2
Способствует росту производительности пользователя	0,20	4	2	5
Энергосбережение	0,10	4	4	3
Надежность	0,20	5	5	4
Скорость обработки информации	0,20	5	3	4

$$I_{p-исп1} = 4*0,2+5*0,1+4*0,2+4*0,1+5*0,2+5*0,2 = 4,5,$$

$$I_{p-исп2} = 3*0,2+3*0,1+2*0,2+4*0,1+5*0,2+3*0,2 = 3,3,$$

$$I_{p-исп3} = 5*0,2+2*0,1+5*0,2+3*0,1+4*0,2+4*0,2 = 4,1.$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-испi}}{I_{финр}}, I_{исп1} = \frac{4,5}{0,8} = 5,625, I_{исп2} = \frac{3,3}{0,91} = 3,63, I_{исп3} = \frac{4,1}{1} = 4,1$$

Полученные в результате расчетов данные собираются в сводную таблицу сравнительной эффективности разработки (таблица 5.15).

Сравнительная эффективность для каждого исполнения рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.i}}, \mathcal{E}_{cp} = \frac{5,625}{3,63} = 1,55, \mathcal{E}_{cp} = \frac{5,625}{4,1} = 1,37, \mathcal{E}_{cp} = \frac{5,625}{5,625} = 1.$$

Таблица 5.16. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Показатель	Исп. 1	Исп.2	Исп. 3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	0,91	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,3	4,1
Интегральный показатель эффективности	5,625	3,63	4,1
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,64	0,73

Исходя из расчетов для реализации выбран первый вариант исполнения проекта, так как этот вариант является компромиссом между двумя другими исполнениями и с финансовой точки зрения менее затратный. С точки зрения ресурсоэффективности наиболее лучшим является второе исполнение.

ВЫВОД

В ходе разработки части дипломной работы, затрагивающей финансовую и ресурсную эффективность, была проведена оценка потребителей. Также был проведен SWOT- и QuaD-анализ, анализ конкурентных решений, что позволило

выявить слабые и сильные стороны разрабатываемого проекта и найти пути улучшения конкурентоспособности продукта. Также были рассмотрены статьи затрат на реализацию проекта. Была проведена оценка сравнительной эффективности исследования и выбран один из трех вариантов исполнения, оказавшийся наилучшим с точки зрения финансовой эффективности. Наиболее подходящим оказался первый вариант, стоимость которого составила 76543,54 рублей.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данном разделе ВКР рассматриваются вопросы, касающиеся соблюдения санитарных норм и правил в процессе использования разработанного программного обеспечения определения Паретовских решений с использованием параллельных вычислений. Рассматриваются меры по защите сотрудника от негативного воздействия среды. Исследуются вредные и опасные факторы среды, а также вопросы охраны окружающей среды от негативного воздействия. Рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и действия, которые сотрудник должен выполнить в случае возникновения ЧС.

Разработанное программное обеспечение будет использоваться сотрудниками в офисных помещениях. При этом рассматривается рабочая зона сотрудника, включающая письменный стол, персональный компьютер, клавиатуру, компьютерную мышь, а также стул. Работа сотрудника при использовании программного приложения классифицируется как работа высокой точности.

Выделены и рассмотрены такие вредные факторы как: неоптимальный микроклимат, повышенный уровень шума, неправильное освещение, высокий уровень электромагнитного излучения. К опасным факторам при работе с компьютером относится высокое напряжение в электрической цепи и

возможность короткого замыкания, влекущего за собой опасность поражения сотрудника электрическим током.

Рассматриваются вопросы правового регулирования трудовых отношений, связанных с использованием разработанной системы.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Освещенность рабочей зоны

Под освещенностью понимается отношение светового потока, падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента. Обозначается освещенность буквой E , измеряется в люксах [31].

Недостаточная освещенность рабочего места увеличивает напряжение глаз сотрудников, что может привести к ухудшению зрения. При плохой освещенности труднее различать цвета, возможно снижение способности к концентрации. Также недостаток света в помещении приводит к снижению уровня работоспособности, бодрости и ухудшает настроение сотрудников. Кроме того, низкое или чересчур пульсирующее освещение может способствовать появлению головных болей или мигреней. К пульсации приводит, как правило, использование газоразрядных ламп, работающих на частоте 50 Гц.

Для комфортной работы сотрудника необходимо отсутствие пульсации света, обеспечение достаточной контрастности в цветопередаче монитора, отсутствие бликов на поверхностях офисного оборудования, а также соответствующее направление светового потока и его спектр. Поскольку работа сотрудника офиса относится к работе высокой точности, необходимо, чтобы параметры освещенности рабочего места соответствовали требованиям СНиП 23-05-95, представленным в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий при зрительной работе высокой точности

Характеристика зрительной работы	Различения мм	Наименьший или эквивалентный размер объекта	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение			Естественное освещение			
						Освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Цилиндрическая освещённость, лк	Объединённый показатель UGR, не более	КП, %, не более	Коэффициент пульсации освещённости	КЕО еН, %, при	
											Верхнем или комбинированном	Боковом
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	Б	Б	1	Не менее 70	300	100	18	15	3,0	1,0	
				2	Менее 70	200	75	18	20	2,5	0,7	

Поскольку работа сотрудника сопряжена с использованием персонального компьютера, необходимо также учитывать правила и нормы к освещению, указанные в [32]. Эти нормы представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК (компьютерные залы)

Плоскость освещенности		Вертикальная плоскость освещенности (дисплей компьютера) в КЕО	Горизонтальная плоскость освещенности (рабочий стол) в КЕО
Параметр			
Высота плоскости над полом, м		1,2	0,8
Разряд и подразряд зрительной работы		Б-2	А-2
Искусственное освещение	Освещенность рабочих поверхностей при комбинированном освещении, лк		500/300
	Освещенность рабочих поверхностей при общем освещении, лк	200	400
	Объединенный показатель дискомфорта UGR, не более	-	14
	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более	-	10
Естественное освещение	КЕО ен, % при боковом освещении	-	1.2
	КЕО ен, % при верхнем или комбинированном освещении	-	3.5

Поскольку наиболее подвержены вредному воздействию плохого освещения именно глаза сотрудников, необходимо делать гимнастику для глаз,

отвернувшись от экрана. Примеры комплексов упражнений представлены в [23]. Эти упражнения способствуют нормальной работе глазных мышц и позволяют снять напряжение.

Вывод: помещение и параметры освещенности рабочего места соответствуют вышеприведенным условиям для проведения работ высокой точности согласно требованиям и нормам СНиП 23-05-95.

6.1.2 Микроклимат помещения

Микроклимат – это комплекс физических факторов внутренней среды помещений, оказывающий влияние на тепловой обмен организма и здоровье человека.

Воздействие комплекса микроклиматических факторов отражается на теплоощущении человека и обуславливает особенности физиологических реакций организма. Температурные воздействия, выходящие за пределы нейтральных колебаний, вызывают изменения тонуса мышц, периферических сосудов, деятельности потовых желез, теплопродукции. При этом постоянство теплового баланса достигается за счет значительного напряжения терморегуляции, что отрицательно сказывается на самочувствии, работоспособности человека, его состоянии здоровья [24]. К рассматриваемым параметрам микроклимата относятся: температура воздуха в помещении, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

В случае если сотрудник испытывает дискомфорт, связанный со слишком высокой или низкой температурой, или влажностью, а также при высокой скорости движения воздуха, вероятно ослабление внимательности и концентрации, ухудшение настроения, снижение работоспособности. Увеличивается риск возникновения простудных заболеваний, а также их последующее распространение в коллективе.

Работа офисного сотрудника относится к категории Ia, поскольку производится сидя и сопровождается незначительным физическим

напряжением. Оптимальные значения параметров микроклимата производственных помещений для категории Ia содержатся в [25] и показаны в таблице 6.3.

Таблица 6.3. Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, 0С	Температура поверхности, 0С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia(до 139)	23-25	21-25	40-60	0,1
Теплый	Категория Ia(до 139)	20-22	22-26	40-60	0,1

Вывод: параметры микроклимата на рабочем месте производственного помещения соответствуют оптимальным.

6.1.3 Уровень шума

Шум — это совокупность звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека и мешающих его работе и отдыху. При высоком уровне шума наблюдается снижение слуха у сотрудников, снижение концентрации и работоспособности. К источникам шума в офисе можно отнести разговоры сотрудников, звук работающего кондиционера, принтера, факса, системы охлаждения ПЭВМ, звук шагов, отодвигаемых стульев, шелест бумаг.

Уровень шума на рабочем месте сотрудника не должен превышать описанные в ГОСТ 12.1.003–83 нормы и правила[33].

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления L в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, определяемые по формуле (7)

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \quad (7)$$

где p — среднее квадратическое значение звукового давления, Па;

p_0 — исходное значение звукового давления. В воздухе $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Предельный уровень звукового давления для работ, требующих высокого умственного напряжения, представлен в таблице 6.4.

Таблица 6.4. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для работ, требующих высокой степени внимания и концентрации

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБ)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

лабораториях для теоретических работ и обработки данных.										
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Для защиты от шума используют звукоизоляцию помещений. К индивидуальным средствам защиты от шума относятся беруши, однако не представляется необходимым использовать их в офисе, поскольку уровень шума там, как правило, не превышает норму в 50 дБ.

6.1.4 Электромагнитное излучение

Электромагнитным излучением называется распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля [34]. Источником излучения в офисе могут стать системные блоки персональных компьютеров. Негативное воздействие электромагнитного излучения на организм человека проявляется в повышении температуры тела, а также может спровоцировать микропроцессы в организме, изменяющие свойства молекул. Длительное воздействие повышенного уровня электромагнитного излучения повышает утомляемость, может вызвать гипертонию, катаракту, изменения в крови, повышает сонливость. В [35] регулируются максимально допустимые уровни напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии электромагнитного поля. Соответствующие значения показаны в таблице 6.5.

Таблица 6.5. ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц

Диапазоны частот	Предельно допустимые уровни энергетической экспозиции		
	По электрической составляющей, (В/м) ² × ч	По магнитной составляющей, (А/м) ² × ч	По плотности потока энергии (мкВт/см ²) × ч
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	-
3 - 30 МГц	7000,0	-	-

30 - 50 МГц	800,0	0,72	-
50 - 300 МГц	800,0	-	-
300 МГц - 300 ГГц	-	-	200,0

Для снижения вредного воздействия ЭМП сотруднику необходимо соблюдать расстояние от глаз до монитора от 0.5 до 1 метра. Также в целях уменьшения ЭМП рекомендуется пользоваться жидкокристаллическими мониторами вместо устаревших устройств с электронно-лучевой трубкой.

6.1.5 Психофизиологические вредные производственные факторы

Психофизиологические вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на следующие:

1. физические перегрузки;
2. нервно-психические перегрузки.

Физические перегрузки подразделяются на:

- статические перегрузки: вызываются длительным пребыванием человека в вынужденной рабочей позе или длительным статическим напряжениям отдельных групп мышц при выполнении работ.
- динамические перегрузки: вызываются большим количеством стереотипных движений за короткий промежуток времени.

Нервно-психические перегрузки подразделяются на:

- монотонность труда: подразделяется на монотонность действия и монотонность обстановки.

Монотонность действия возникает в связи с выполнением однообразных рабочих действий и частым их повторением.

Монотонность обстановки возникает в связи с воздействием на человека однообразных факторов окружающей рабочей среды, обстановки и дефицита поступающей информации, при пассивном наблюдении и контроле за автоматизированными процессами.

- умственно-эмоциональные перегрузки вызываются информационной перегрузкой при дефиците времени на ее переработку, и приводят к перенапряжению процессов психики: внимания, ощущений, памяти, мышления, работоспособности, эмоций, утомляемости;

- перенапряжение анализаторов и органов чувствительности: вызывается в результате воздействия на них раздражителей, величины которых выходят за диапазоны чувствительности анализатора.

В условиях работы в офисе все перечисленные психофизические факторы оказывают влияние на работу сотрудника (студента, научного руководителя). Соответственно, целесообразно принимать меры по устранению этих вредных производственных факторов.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на ПК - это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. Исключение случайно возникающих перебоев в работе, ритмизация трудовых процессов являются важными условиями поддержания высокого уровня работоспособности. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха.

В сменном режиме труда и отдыха должно быть предусмотрено физиологически и психологически обоснованное чередование работы на компьютере и перерывов для отдыха и приема пищи.

Перерывы различаются по своему значению и продолжительности. В середине рабочего дня назначается обеденный перерыв, продолжительность которого должна составлять 1 час. Расположение дополнительных перерывов на протяжении рабочего дня, их количество и продолжительность определяются на основании физиологического и психологического изучения динамики работоспособности.

В соответствии с инструкциями по охране труда рекомендуется 30 минутный перерыв после каждых двух часов непрерывной работы или 15

минутный перерыв на каждый час работы. Доказано, что частые паузы до развития утомления намного ценнее длительных, но менее частых перерывов, начинающихся уже после снижения уровня работоспособности. Также рекомендуется периодически проводить гимнастику на рабочем месте для разминки и разрядки организма.

Основными элементами рабочего места, оснащенного дисплеем, является рабочее кресло, рабочая поверхность, экран дисплея и клавиатура.

Рабочее кресло обеспечивает поддержание рабочей позы, в положении сидя, и чем длиннее это положение в течение рабочего дня, тем настоятельнее должны быть требования к созданию удобных и правильных рабочих сидений. Тип рабочего кресла выбирается в зависимости от продолжительности работы: при длительной - массивное кресло, при кратковременной - кресло легкой конструкции, которое свободно отодвигается. Подножка кресла должна иметь пять опор, чтобы исключить опрокидывание.

Сидение должно быть удобным, иметь закругленные края, наклоняться по отношению к горизонтали вперед на 2 градуса и назад на 14 градусов. Его размеры не должны превышать 40x40 см. Сиденье должно быть покрыто латексом толщиной около 1 см, сверху которого накладывается влагопроницаемый материал (меланжевая ткань, натуральное полотно).

Высота спинки кресла рекомендуется 48-50 см от поверхности сидения и с регулировкой в переднезаднем направлении. На высоте 10-20 см от поверхности сидения ее следует оборудовать поясничным опорным валиком. Кресло с подлокотниками рекомендуется при эпизодической работе на ВДТ, при постоянной работе подлокотники ограничивают движения.

Рабочий стол должен иметь стабильную конструкцию. Плоскость стола выбирают в зависимости от размера документов. Плоскость стола, а также сидение оператора должны регулироваться по высоте. Высоту плоскости стола необходимо регулировать в диапазоне 65-85 см. При этом высота от горизонтальной линии зрения до рабочей поверхности стола при выпрямленной рабочей позе должна быть 45-50 см.

Покрытие стола должно быть матовым с коэффициентом отражения 20-50 % и легко чиститься; углы и передняя верхняя грань доски стола следует выполнять закругленными. Высоту пространства под столом для ног сотрудника рекомендуют 60 см (на уровне колен) и не менее 80 см на уровне ступней.

Оптимальная высота расположения экрана должна соответствовать направлению взгляда сотрудника в секторе 5-35 градусов по отношению к горизонтали. Большой наклон экрана может привести к появлению бликов от светильников.

Клавишное устройство целесообразно делать отдельно от экрана и подвижным. Это обеспечивает выбор оптимального положения, высоты и наклона всех составляющих оборудования рабочего места студента или научного руководителя.

Изучение утомляемости различных групп мышц, состояния кровеносной и дыхательной систем показало неодинаковую физиологическую эффективность разных рабочих положений тела при разной длительности работы. При выборе рабочего положения следует принимать во внимание необходимые рабочие усилия, подвижность человека во время работы, размер рабочей зоны и особенности деятельности. Предусмотреть условия правильной организации самой посадки.

При работе сидя обычно естественный спинно-поясничный прогиб вперед меняется на изгиб назад (что является причиной болей в пояснице). Поэтому необходимо, чтобы корпус был выпрямлен, сохранены естественные изгибы позвоночного столба и угол наклона таза.

6.1.6 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

При работе с компьютером возможно поражение электрическим током, что ведет к появлению ожогов, нагреву сосудов, механическим повреждениям тканей и сосудов, раздражающим воздействиям на ткани. Причиной поражения человека током может быть:

- Непосредственное прикосновение к токоведущим частям, оказавшимся под напряжением;
- Соприкосновение с конструктивными частями, оказавшимися под напряжением.

Общие требования по электробезопасности представлены в [36]. Офисное помещение относится к категории помещений без повышенной опасности, однако необходимо соблюдать меры предосторожности при работе с компьютером. Так, не рекомендуются следующие действия:

- Закладывать провода и шнуры за газовые и водопроводные трубы, за батареи отопительной системы;
- Выдергивать штепсельную вилку из розетки за шнур, усилие должно быть приложено к корпусу вилки;
- Работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе;
- Класть на средства вычислительной техники и периферийное оборудование посторонние предметы.

6.2 Экологическая безопасность

6.2.1 Загрязнение атмосферного воздуха

Атмосфера всегда содержит определенное количество примесей, поступающих от естественных и других источников. К числу примесей, производимых естественными источниками, относят: пыль, туман, дым, газы от лесных и степных пожаров и др. [37, 38, 39]

Основное загрязнение атмосферного воздуха производит отрасль промышленности.

Выполнение ВКР не осуществляет выбросов вредных веществ в атмосферу. Загрязнение атмосферного воздуха может возникнуть в случае возникновения пожара в помещении, в этом случае дым и газы от пожара будут являться антропогенным загрязнением атмосферного воздуха.

6.2.2 Загрязнение гидросферы

Сточная вода – это вода, бывшая в бытовом или производственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию.

В ходе выполнения ВКР образовывались хозяйственно – бытовые воды. Бытовые сточные воды помещения образуются при эксплуатации туалетов, столовой, а также при мытье рук и проведении влажной уборки и т.п. Данные воды отправляются на городскую станцию очистки.

6.2.3 Отходы

Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы, а также отходы возникающие в случае поломки ноутбука. В ходе выполнения ВКР образовывались различные твердые отходы. К ним можно отнести: бумагу, батарейки, лампочки, отходы от продуктов питания и личной гигиены, отходы от канцелярских принадлежностей и т.д.

Макулатура должна быть маркирована согласно ГОСТ 10700-97: Отходы производства белой бумаги (кроме газетной): бумага для печати, писчая, чертежная, рисовальная, основа светочувствительной бумаги и другие виды белой бумаги. Марка: МС-1А. Макулатура, пришедшая в негодность по каким-либо причинам, должна вывозиться в места утилизации, согласованные с органами санитарно-эпидемиологической службы.

Использованные батарейки классифицируют в соответствии с их электрохимической системой. Утилизацию первичных батарей допустимо

производить посредством общих мест размещения мусора, если отсутствуют иные местные нормы и требования.

Лампочки, как и батарейки, перерабатывают на специальных предприятиях. Лампы разделяются на составляющие компоненты: стекло, люминофор, ртуть, цоколь, электроника. Часть материалов после переработки может быть использована повторно. Ядовитые соединения должны быть запакованы в цементную оболочку и захоронены. Защита почвенного покрова и недр от твердых отходов реализуется за счет сбора, сортирования и утилизации отходов и их организованного захоронения.

Главными нормативными актами, регулирующими вопрос утилизации ноутбуков, являются федеральные законы РФ «Об охране окружающей среды» и «Об отходах производства и потребления». А по ним вся оргтехника подлежит утилизации с соблюдением определенных правил: демонтаж запчастей, сортировка отходов и утилизация.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В ходе работы за ПЭВМ может возникнуть чрезвычайная ситуация – пожар. Причинами пожаров могут быть:

- Игнорирование основных правил пожарной безопасности;
- Неисправность электрической проводки;
- Возгорание электроприборов — неисправных, самодельных или оставленных без присмотра;
- Курение в неположенных местах.

В [32] рассмотрены требования к системам противопожарной защиты, мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Для защиты от пожаров необходимо иметь в наличии такое пожарное оборудование как пожарные шкафы, пожарные щиты и огнетушители. Сотрудники должны уметь пользоваться таким оборудованием. Углекислотные огнетушители применяются для ликвидации пожаров, вызванных возгоранием

электрооборудования. На рисунке 17 представлена принципиальная схема углекислотного огнетушителя.

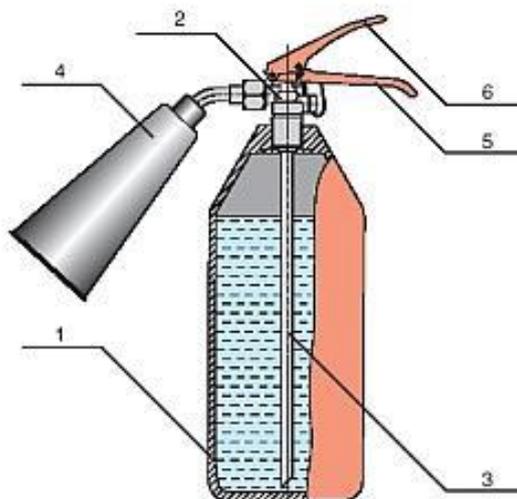


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема ОУ

На рисунке выше введены следующие обозначения:

- 1) Стальной баллон;
- 2) Запорно-пусковое устройство (ЗПУ);
- 3) Сифонная трубка;
- 4) Раструб;
- 5) Ручка для переноски огнетушителя;
- 6) Рычаг ЗПУ.

Для использования ОУ необходимо направить раструб на очаг возгорания и открыть ЗПУ.

Сотрудники должны знать план эвакуации из помещения, расположение выходов из здания. Также необходимо проводить плановые эвакуации из здания, для того чтобы подготовить сотрудников к действиям в чрезвычайной ситуации.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Функции государственного надзора и контроля в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности

осуществляются специально уполномоченными на то государственными органами и инспекциями согласно федеральным законам. В ТК РФ [31] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[32]:

- Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю.

- Продолжительность непрерывной работы за компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 1 час;

- Рекомендуется делать перерывы в работе за ПК продолжительностью 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы;

- Во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения;

- Не рекомендуется работать за компьютером более 6 часов за смену.

Для того чтобы ПЭВМ соответствовали нормам, осуществляется производственный контроль и надзор внутри предприятия-производителя. Эксплуатирующие предприятия также следят за характеристиками используемой аппаратуры.

Для защиты прав сотрудников на труд в условиях, соответствующих принятым правилам и нормам, на территории Российской Федерации действуют следующие организации.

- Федеральная инспекция труда;

- Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения;

- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

6.4.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Большое значение для профилактики статических физических перегрузок имеет правильная организация рабочего места человека, работающего с ПЭВМ. Рабочее место должно быть организовано в

соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда. Оно должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать возможность удобного выполнения работ;
- учитывать физическую тяжесть работ;
- учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего;
- учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

Невыполнение требований к расположению и компоновке рабочего места может привести к получению работником производственной травмы или развития у него профессионального заболевания. Рабочее место программиста должно соответствовать требованиям СанПин 2.2.2/2.4.1340-03.

Конструкция оборудования и рабочего места при выполнении работ в положении сидя должна обеспечивать оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности, высоты сидения, оборудованием пространства для размещения ног и высотой подставки для ног. Схемы размещения рабочих мест с персональными компьютерами должны учитывать расстояния между рабочими столами с мониторами: расстояние между боковыми поверхностями мониторов не менее 1,2 м, а расстояние между экраном монитора и тыльной частью другого монитора не менее 2,0 м. Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю. Быстрое и точное считывание информации обеспечивается при расположении плоскости экрана ниже уровня глаз пользователя, предпочтительно перпендикулярно к нормальной линии взгляда (нормальная линия взгляда 15 градусов вниз от горизонтали). Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

ВЫВОД

Освещенность, уровень шума и микроклимат помещения соответствуют установленным нормам; однако присутствуют и другие вредные факторы, влияние которых на организм работника всё равно будет присутствовать: электромагнитное излучение, психофизические факторы.

В процессе работы необходимо соблюдать электробезопасность, экологическую безопасность, своевременно утилизировать отходы в соответствии с установленными нормами и правилами, а также соблюдать правила пожарной безопасности и действий в чрезвычайных ситуациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выпускной квалификационной работы:

- Изучены методы многокритериальной оптимизации;
- Изучены методы получения Парето-оптимальных решений.
- Разработан программный комплекс для интерактивного определения Парето-оптимальных решений (двумерный и трехмерный случаи) построения области допустимых значений, а также критериального пространства (пространства оценок), компромиссная кривая интерполируется.
- Лицо, принимающее решение, может интерактивно работать с программой и выделять те точки, которые, на его взгляд, являются оптимальными.
- Были закреплены полученные в ходе обучения в университете теоретические навыки.

В результате работы над проектом было создано приложение, позволяющее определять паретовские решения с использованием параллельных вычислений в заданной области и получать информацию о найденных решениях в интерактивном режиме.

Созданное приложение может применяться для практических задач многокритериальной оптимизации, в учебном процессе.

Использование многопоточной обработки позволяет увеличить количество обрабатываемых элементов без потерь скорости вычислений.

Созданная программа имеет большой потенциал для дальнейшего улучшения, делающего возможным применение в более сложных задачах оптимизации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Горбунов В.М., Нанзатов А.Ж., Синюкова Е.А. Использование арбитражной схемы Нэша в многокритериальной оптимизации. – «Наука и практика в условиях санкционного миропорядка». – Сборник научных статей: изд. «КультИнформПресс», Санкт-Петербург, 2018г. – с.38.

2. Пилецкий А.А., Нанзатов А.Ж., Ботыгин И.А. Обработка ресурсов узлов в распределенных вычислительных системах. – Сборник научных трудов III Международной научной конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине», Часть I, 2016 г. – с.732-733.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбунов В.М., Е.А. Синюкова. Практикум по дисциплине «Теория принятия решений», Томский политехнический университет. – Томск, 2014, с. 43.
2. Гладких Б.А. Методы оптимизации и исследования операций для бакалавров информатики. Ч. III. Теория решений: учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 280. С. 104-114
3. “Wikipedia” Free encyclopedia. Multiple-criteria decision analysis. [Электронный ресурс]. (05.05.2018) Режим доступа:
https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple-criteria_decision_analysis
4. Электронный курс «Теория принятия решений», [Электронный ресурс] Томский политехнический университет. Режим доступа:
<http://stud.lms.tpu.ru/enrol/index.php?id=920>
5. Ahn, K., “The Sense of Relative Poverty and its Effects on the Equity–Efficiency Tradeoff”, Journal of Economic Development 15 – 1990, pp. 191–198.
6. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач – М.: Наука, 1982 – с. 254.

7. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями: учебное пособие для вузов // Оптимизация – Дрофа. 2006 – с.182.
8. Back, T., "Selective Pressure in Evolutionary Algorithms: A Characterization of Selection Mechanisms", Proc. of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, IEEE Press, Piscataway NJ, 1994., pp. 57-62, Режим доступа: <http://ls11-www.informatik.uni-dortmund.de/people/baeck/papers/wcci94-sel.ps.gz>.
9. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: учебное пособие. М: МАКС Пресс, 2008 – с.57;
10. Чубукова И.А. Data Mining: Учебное пособие/И.А. Чубукова. – Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – с. 85-86;
11. Биллиг В. А. Параллельные вычисления на С#. Факты и гипотезы. [Электронный курс] Режим доступа: <http://www.keldysh.ru/abrau/2015/25.pdf> (Дата обращения 25.09. 2017).
12. Филатова Е.С., Филатов Д.М. Применение параллельных вычислений в задачах многокритериальной оптимизации и их реализация в среде MATLAB. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-parallelnyh-vychisleniy-v-zadachah-mnogokriterialnoy-optimizatsii-i-ih-realizatsiya-v-srede-matlab>
13. Семенова Н.В., Цыбенко М.В. Параллельный подход к решению задач многокритериальной оптимизации на комбинаторных множества. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.atcmd.md/wp-content/uploads/2014/04/V_2_56_MMOTI_Semenova_Tsybenko.pdf
14. Казаков В.Ю., Тимченко С.В. Параллельный алгоритм для решения задач многокритериальной оптимизации // Вторая Сибирская школа-семинар по параллельным вычислениям. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – С. 32-37;

15. Deb K. Evolutionary Algorithm for Multi-Criterion Optimization in Engineering Design // Proceedings of Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science (EUROGEN-99) – pp. 135-161;
16. Suzumura, K., “On Pareto-Efficiency and the No-Envy Concept of Equity”, Journal of Economic Theory 25 - 1981, с. 367–379.
17. Hansson, S.O., “Welfare, Justice, and Pareto Efficiency”, Kluwer Academic Publishers – 2004.
Режим доступа: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10677-004-2217-0.pdf>.
18. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход. – М.: Физматлит. 2002 – с.176.
19. Горбунов В.М., Нанзатов А.Ж., Синюкова Е.А. Использование арбитражной схемы Нэша в многокритериальной оптимизации. – «Наука и практика в условиях санкционного миропорядка». – Сборник научных статей: изд. «КультИнформПресс», Санкт-Петербург, 2018г. – с.38;
20. Мушик Э., Мюллер П. Методы технических решений: перевод с нем. – М.: Мир, 1990. – с.208, ил.
21. Сушков Ю.А. Метод, алгоритм и программа случайного поиска // - Л.: ВНИИТрансМаш, 1969. – с. 43;
22. Deb K. Multi-objective Genetic Algorithms: Problem Difficulties and Construction of Test Problems. // Evolutionary Computation – vol.7, 1999. – pp. 205-230;
23. Zitzler E., Thiele L. Multiobjective optimization using evolutionary algorithms – A comparative case study. // Parallel Problem Solving from Nature -- Springer, Berlin, Germany. – pp. 292-301;
24. Статников Р.Б., Матусов И.Б.. Многокритериальное проектирование машин. – М.: Знание, 1989. – 48 с. /Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика»; №5;
25. Теория выбора и принятия решений: Учебное пособие /И.М. Макаров и

- др. - М.: Наука, 1982. - 388 с.;
- 26.СНиП 23-05-10. Естественное и искусственное освещение. М.: Минрегион России, 2010. – 76 с.
- 27.СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Минздрав России, 2003. – 15 с.
- 28.Микроклимат [Электронный ресурс] / Академик. URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/18788/Микроклимат, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 29.СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997. – 14 с.
- 30.ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности труда. – М.: Стандартиформ, 2008. – 13 с.
- 31.Электромагнитное излучение [Электронный ресурс] / Википедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромагнитное излучение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромагнитное_излучение), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 32.ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартиформ, 2010. – 32 с.
- 33.ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения.
- 34.ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
- 35.Трудовой кодекс РФ на 2012 год – перераб. и доп. – М.; Рид Групп, 2012.
36. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2006. – 68 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

Листинг основных модулей программы

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Windows.Forms;
using NCalc;
using OxyPlot;
using OxyPlot.Axes;
using OxyPlot.Series;
using OxyPlot.WindowsForms;

namespace Lab3TPR
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            ToolStripMenuItem fileItem = new ToolStripMenuItem("Файл");

            fileItem.DropDownItems.Add("Создать");
            fileItem.DropDownItems.Add(new ToolStripMenuItem("Сохранить"));

            menuStrip1.Items.Add(fileItem);

            ToolStripMenuItem parallelItem = new ToolStripMenuItem("Вывод многопоточности");
            menuStrip1.Items.Add(parallelItem);

            ToolStripMenuItem aboutItem = new ToolStripMenuItem("О программе");
            menuStrip1.Items.Add(aboutItem);
        }

        private void Clear()
        {
            dataGridView1.Rows.Clear();
            tabPage3.Controls.Clear();
            tabPage2.Controls.Clear();
        }

        private void calculate_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Clear();
            var rand = new Random();

            HashSet<Tuple<ScatterPoint, ScatterPoint>> points = new
            HashSet<Tuple<ScatterPoint, ScatterPoint>>();

            Expression e1 = new Expression(firstFunction.Text.Trim());
            Expression e2 = new Expression(secondFunction.Text.Trim());

            for (int i = 0; i < Convert.ToInt32(numberOfPoint.Text); i++)
            {
                var x1 = rand.NextDouble() * (Convert.ToDouble(maxx1.Text) -
                Convert.ToDouble(minx1.Text)) +
                Convert.ToDouble(minx1.Text);
            }
        }
    }
}
```

```

        var x2 = rand.NextDouble() * (Convert.ToDouble(maxx2.Text) -
Convert.ToDouble(minx2.Text)) +
        Convert.ToDouble(minx2.Text);
var circle = 5 + 50 * x2 * x2 + 0.005 * x1 * x1 + 0.8 * 1;
e1.Parameters["x1"] = e2.Parameters["x1"] = x1;
e1.Parameters["x2"] = e2.Parameters["x2"] = x2;
if (circle <= 37)
{
    points.Add(new Tuple<ScatterPoint, ScatterPoint>(new ScatterPoint(x1,
x2),
        new ScatterPoint((double)e1.Evaluate(), (double)e2.Evaluate())));
}
}

HashSet<ScatterPoint> toRemove = new HashSet<ScatterPoint>();
foreach (var scatterPoint in points)
{
    foreach (var point in points)
    {
        if (scatterPoint.Item2.X >= point.Item2.X && scatterPoint.Item2.Y >
point.Item2.Y)
        {
            toRemove.Add(point.Item2);
        }
    }
}

var scatterSeries = new ScatterSeries { MarkerType = MarkerType.Circle,
MarkerSize = 2, MarkerFill = OxyColors.Blue };
scatterSeries.Points.AddRange(points.Select(x => x.Item2));
var scatterSeriesx1 = new ScatterSeries { MarkerType = MarkerType.Circle,
MarkerSize = 2, MarkerFill = OxyColors.Blue };
scatterSeriesx1.Points.AddRange(points.Select(x => x.Item1));

points.RemoveWhere(x => toRemove.Contains(x.Item2));

filling_dataGrid(points.ToList()); var scatterSeries2 = new ScatterSeries
{
    MarkerType = MarkerType.Circle,
    MarkerSize = 3,
    MarkerFill = OxyColors.Red
};
scatterSeries2.Points.AddRange(points.Select(x => x.Item2));

var scatterSeriesx2 = new ScatterSeries
{
    MarkerType = MarkerType.Circle,
    MarkerSize = 3,
    MarkerFill = OxyColors.Red
};
scatterSeriesx2.Points.AddRange(points.Select(x => x.Item1));

var model = new PlotModel { Title = "Пространство оценок и Компромиссная кривая
(красные точки)" };
model.Series.Add(scatterSeries);
model.Series.Add(scatterSeries2);

var modelx = new PlotModel { Title = "Множество решений" };
modelx.Series.Add(scatterSeriesx1);
modelx.Series.Add(scatterSeriesx2);

model.Axes.Add(new LinearAxis
{

```

```

        MajorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        MinorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        Position = AxisPosition.Left,
        PositionAtZeroCrossing = true,
        FontWeight = FontWeights.Bold
    });
    model.Axes.Add(new LinearAxis
    {
        MajorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        MinorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        Position = AxisPosition.Bottom,
        PositionAtZeroCrossing = true,
        FontWeight = FontWeights.Bold
    });
    modelx.Axes.Add(new LinearAxis
    {
        MajorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        MinorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        Position = AxisPosition.Bottom,
        PositionAtZeroCrossing = true,
        FontWeight = FontWeights.Bold
    });
    modelx.Axes.Add(new LinearAxis
    {
        MajorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        MinorGridLineStyle = LineStyle.Automatic,
        Position = AxisPosition.Left,
        PositionAtZeroCrossing = true,
        FontWeight = FontWeights.Bold
    });

    var plot = new PlotView { BackColor = Color.White, Dock = DockStyle.Fill, Model
= model };
    var plot2 = new PlotView { BackColor = Color.White, Dock = DockStyle.Fill, Model
= modelx };
    tabPage3.Controls.Add(plot);
    tabPage2.Controls.Add(plot2);
}

private void filling_dataGrid(List<Tuple<ScatterPoint, ScatterPoint>> listOfPoints)
{
    for (int i = 0; i < listOfPoints.Count; i++)
    {
        dataGridView1.Rows.Add();
        dataGridView1.Rows[i].Cells[0].Value = i + 1;
        dataGridView1.Rows[i].Cells[1].Value = listOfPoints[i].Item1.X;
        dataGridView1.Rows[i].Cells[2].Value = listOfPoints[i].Item1.Y;
        dataGridView1.Rows[i].Cells[3].Value = listOfPoints[i].Item2.X;
        dataGridView1.Rows[i].Cells[4].Value = listOfPoints[i].Item2.Y;
    }
}

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
}
}

using System;
using System.Threading;

namespace ThreadingClass

```

```

{
class Parallel
{
    static void Main(string[] args)
    {
        Worker thread32 = new Worker();
        Thread32.Run();
        Scatterseries.Read();
    }
}

class Worker
{
    private int thread_counter = 0;
    private object threadsChoosing = new object();

    public void Run()
    {
        for (int i = 0; i < maxx1; ++i)
        {
            Thread thread = new Thread(ThreadFunction);
            thread.Start();
        }
    }

    public void Run()
    {
        for (int i = 0; i < maxx2; ++i)
        {
            Thread thread = new Thread(ThreadFunction);
            thread.Start();
        }
    }

    private void ThreadFunction()
    {
        lock (threadLocker)
        {
            Scatterseries.Choose(points_counter);
            Value = Array_collision/points_counter;
        }
    }
}
}

```