

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



Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах
Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Корневой анализ системы на основе вершинных характеристических полиномов

УДК 681.51.015.2:517.587

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Чжао Юньсян		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев М.С.	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А.В.	К.Х.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИБ.	Скаковская Н.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Алексеев Н. А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Пушкарев М.И.	К.Т.Н		
Руководитель ОАР	Леонов С.В.	К.Т.Н		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	профессиональные
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

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



Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах
Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Пушкарев М. И.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Чжао Юньсян

Тема работы:

Корневой анализ системы на основе вершинных характеристических полиномов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1160/с от 14.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	1. Базовые понятия робастной теории управления. 2. Методы анализа САУ с аффинной неопределенностью параметров. 3. Теория алгоритмов и архитектуры программных приложений
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Отображение параметрического многогранника интервального полинома на корневую плоскость. 2. Анализ робастного качества интервальных САУ. 3. Анализ свойств отображения ребер САУ с аффинной неопределенностью на корневую плоскость. 4. Программная реализация алгоритмов анализа интервальных систем. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в формате *.pptx на 14 слайдах

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Основная часть	Доцент ОАР, к.т.н. Суходоев М.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ШБИП, к.ф.н. Скаковская Н.В.
Социальная ответственность	Ассистент, Алексеев Н. А.
Английский язык	Доцент ОИЯ, к.п.н. Сидоренко Т.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.02.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Суходоев М.С.	к.т.н		26.02.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Чжао Юньсян		26.02.2019

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



Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах
Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования – магистрант
Период выполнения – весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения
выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2019	Основная часть	70
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
22.05.2019	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев М.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Пушкарев М. И.	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа 8AM71		ФИО Чжао Юньсян	
Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	27.04.04 Управление в технических системах
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:			
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Должностной оклад научного руководителя – 26300 руб. Должностной оклад инженера – 17000 руб.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов		Норма амортизации – 20%	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования		Социальные отчисления – 30% от ФЗП	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)		1. Анализ конкурентных технических решений	
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР		2. Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта	
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР		3. Определение затрат на проектирование	
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)		4. Определение капиталовложений в тепловую сеть	
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков		5. Определение эксплуатационных затрат; расчет интегрального показателя ресурсоэффективности	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):			
1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений			
2. Календарный план-график проведения работ по проектированию тепловой сети			
3. Капиталовложения в тепловую сеть			
4. Бюджет затрат на проектирование тепловой сети			
5. Эксплуатационные ежегодные издержки			
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику			30.05.2019

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП.	Скаковская Н.В.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Чжао Юньсян		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Чжао Юньсян

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Синтез регулятора нестационарной системы управления шахтным подъемником на основе желаемого интервального характеристического полинома
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Организация рабочего места осуществляется в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Выявленные вредные факторы: – нарушение параметров микроклимата – повышение шума – недостаточное освещение – электромагнитные излучения Анализ выявленных опасных факторов: – опасность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС; – разработка решений по обеспечению экологической безопасности
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар. – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Алексеев Н. А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Чжао Юньсян		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 98 страницы, 22 рисунков, 14 таблиц, 22 источников.

Ключевые слова: САУ, аффинная неопределенность, ИХП, ребер, МИКГ, метод золотого сечения, степень робастной колебательности, JAVA.

Цель работы – разработать оптимизированную по количеству вычислений методику нахождения корневых показателей качества для систем с аффинной неопределенностью

В ходе исследования были получены практические навыки анализа САУ с аффинной неопределенностью параметров с помощью реберной теоремы. В процессе выполнения работы использован программный продукт eclipseIDE 2018-12 для написания программы.

В результате исследования был произведен анализ свойств отображения ребер интервальной системы с аффинным типом неопределенности на корневую плоскость. Также создано программное приложение, реализующее описанный алгоритм.

Экономическая эффективность и значимость работы, себестоимость исследуемой системы представлена в главе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Выявлены основные опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть в процессе работы разработаны меры по снижению воздействий системы на экологию, что представлено в главе социальная ответственность.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

САУ—система автоматического управления.

ИХП—интервальный характеристический полином.

МИКГ-многопараметрический интервальный корневой годограф.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	12
1. Анализ поведения ребер интервального характеристического полинома для систем с аффинной неопределенностью.....	13
1.1 Основные понятия робастной теории управления	13
1.2 Интервальные характеристические полиномы САУ	13
1.3 Отображение параметрического многогранника САУ с интервальными параметрами на корневую плоскость	16
1.4 Реберная теорема.....	18
2. Разработка методики нахождения глобального экстремума на ребре интервального характеристического полинома системы с аффинной неопределенностью.....	21
2.1 Отображение ребер параметрического многогранника на комплексную плоскость.....	21
2.2 Использовать метод золотого сечения для анализа каждого ребра	24
2.3 Объединение найденных глобальных экстремумов для каждого ребра из минимального реберного маршрута и нахождение робастных корневых показателей качества всей системы	27
3 Разработка программного обеспечения для реализации разработанной методики.....	28
3.1 Структура программы	29
3.2 Программная реализация	34
3.3 Интерфейс пользователя	35
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39
4.1 Анализ конкурентных технических решений.....	39
4.2 Календарный план работ и оценка времени их выполнения	42
4.3 Смета затрат на проект	46
4.3.1 Материальные затраты	46
4.3.2 Амортизация компьютерной техники.....	46
4.3.3 Затраты на заработную плату	47

4.3.4 Затраты на социальные нужды	48
4.3.5 Прочие затраты.....	48
4.3.6 Накладные расходы	48
4.4 Определение капиталовложений в тепловую сеть	48
4.5 Определение эксплуатационных издержек.....	49
4.6 Ресурсоэффективность	53
5. Социальная ответственность	55
5.1 Производственная безопасность	55
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	55
5.1.2 Микроклимат	56
5.1.3 Шум	57
5.1.4 Недостаточная освещенность	57
5.1.4.1 Расчет искусственного освещения	58
5.1.5 Электромагнитные излучения	59
5.1.6 Электробезопасность	60
5.1.7 Психофизиологические факторы	62
5.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)	62
5.3 Экологическая безопасность.....	64
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	64
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
Заключение	70
Список использованных источников	71
Приложение А	73
Приложение Б.....	90

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве технологических объектов управления их параметры меняются в зависимости от различных факторов в определенных, заранее известных, диапазонах. Это могут быть особенности как самого технологического процесса, так и прочих физических процессов, протекающих во время эксплуатации объектов. Причем указанные параметры могут быть не всегда доступны измерению. Поэтому актуальной становится задача анализа систем, содержащих указанные интервально-неопределенные параметры при любых значениях параметров из заданного диапазона.

По классификации, существует четыре типа систем с интервально-неопределенными параметрами: интервальная, аффинная, полилинейная и полиномиальная неопределенности, в порядке увеличения сложности. Каждая из них имеет как свои особенности образования интервальных характеристических полиномов, так и свойства их отображения на корневую плоскость.

Данная работа посвящена анализу систем с аффинной неопределенностью. В соответствии с реберной теоремой, для систем с указанным типом неопределенности, корни характеристического уравнения, определяющие робастные показатели качества, расположены на ребрах интервального параметрического многогранника. На текущий момент для определения робастных показателей качества системы с аффинной неопределенностью производят вычисления корней для всех параметров интервального характеристического полинома, находящихся на ребрах параметрического многогранника, с определенным шагом. Решение такой задачи требует достаточно большого количества вычислений, которые растут в экспоненциальной зависимости по мере увеличения количества интервальных параметров.

Соответственно, целью данной работы является разработка методики по уменьшению количества вычислений для определения робастных показателей качества систем с аффинной неопределенностью.

1. АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ РЕБЕР ИНТЕРВАЛЬНОГО ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ПОЛИНОМА ДЛЯ СИСТЕМ С АФФИННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ

1.1 Основные понятия робастной теории управления

Робастная теория управления – отрасль науки, рассматривающая задачи анализа и синтеза систем автоматического управления (САУ) с неопределенными, интервальными параметрами с целью обеспечения устойчивой работы системы с заданными показателями качества в любом возможном режиме ее работы.

Интервальным параметром здесь считается любой параметр системы, изменяющийся в заранее известных пределах, то есть в некотором интервале.

Интервал – это диапазон значений параметров системы с границами с обеих сторон. Интервал записывается латинскими буквами и заключен в квадратные скобки, верхний и нижний пределы интервала обозначаются одной и той же буквой с полосами над или под ней:

$$[x] = [\underline{x}, \bar{x}].$$

1.2 Интервальные характеристические полиномы САУ

По своей сути, САУ с интервальными параметрами представляет собой бесконечное семейство САУ с постоянными параметрами. Таким образом, к робастным системам применимы те же средства описания: пространство состояний, описание в матричной форме, передаточные функции и характеристические полиномы. Очевидно, что коэффициенты передаточной функции робастной системы, а значит и коэффициенты ее характеристического полинома, зависят от интервальных параметров.

Интервальный характеристический полином (ИХП) – знаменатель передаточной функции замкнутой робастной САУ; характеристический полином, коэффициенты которого каким-либо образом зависят от интервальных параметров системы.

Существует несколько типов неопределенности в зависимости от того, как коэффициенты ИХП зависят от параметров интервала: интервальную, аффинную, полилинейную или полиномиальную.

Простейшей неопределенностью является интервальная неопределенность. Например, интервальный полином задается следующим образом:

$$P(s) = \left\{ P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] * s : \underline{a_i} \leq a_i \leq \bar{a_i}, \underline{a_i} > 0 \right\}.$$

Здесь интервальными параметрами являются сами коэффициенты полинома. Такое встречается довольно редко, так как обычно коэффициенты полиномов абстрактны и не имеют физического смысла.

Аффинная неопределенность – один из способов учесть влияние нескольких интервальных параметров на каждый из коэффициентов полинома. Аффинное семейство полиномов задается следующим образом:

$$P(s) = \{P(s, q) = P_0 + q_1 * P_1(s) + \dots + q_l * P_l(s), q \in Q\}.$$

Здесь имеется l интервальных параметров q ; каждый из интервальных параметров входит в полином в первой степени, таким образом, коэффициенты полинома при s представляет собой линейную комбинацию интервальных параметров.

Полилинейная или мультилинейная неопределенность предполагает, что коэффициенты ИХП представляют собой полиномы первой степени относительно одного из интервальных параметров при замене прочих интервальных параметров константами. От аффинной неопределенности отличается тем, что допускается зависимость коэффициентов ИХП еще и от произведений интервальных параметров.

Наиболее сложный для анализа, полиномиальный тип неопределенности подразумевает нелинейную зависимость коэффициентов полинома от интервальных параметров.

Исходя из определения основных видов неопределенностей, можно сделать вывод, что любую неопределенность – аффинную, полиномиальную или

более сложную – можно при помощи правил интервальной арифметики свести к интервальной неопределенности.

Интервальная арифметика – простейший раздел интервального анализа. Интервальный анализ является развитием теории множеств и, кроме основных арифметических операций, позволяет выполнять операции над интервальными матрицами; вычислять значение трансцендентных функций от интервалов и прочее.

Для освоения основных принципов робастного управления достаточно будет интервальной арифметики – остановимся на ней поподробнее [18].

Сложение интервалов $[x]$ и $[y]$ выполняется по следующему правилу:

$$[x] + [y] = [\underline{x} + \underline{y}; \bar{x} + \bar{y}].$$

То есть сумма нижних границ слагаемых равна нижней границе суммы двух интервалов; сумма верхних пределов слагаемых равна верхнему пределу суммы двух интервалов.

Вычитание интервалов $[x]$ и $[y]$ выполняется по следующему правилу:

$$[x] - [y] = [\underline{x} - \bar{y}; \bar{x} - \underline{y}].$$

То есть разница между нижним пределом уменьшаемого числа и верхним пределом вычитаемого числа равна нижнему пределу разности между двумя интервалами; разница между верхним пределом уменьшаемого числа и нижней границей вычитаемого числа равна верхнему пределу разности между двумя интервалами.

Умножение интервалов $[x]$ и $[y]$ выполняется по следующему правилу:

$$[x] * [y] = [\min \{ \underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y} \}, \max \{ \underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y} \}].$$

То есть нижняя граница произведения двух интервалов равна минимуму произведения границ фактора, верхняя граница произведения двух интервалов равна максимуму произведения границ фактора.

Деление интервалов $[x]$ и $[y]$ выполняется как умножение делимого на интервал, обратный делителю. Вычисление обратного интервала, в свою очередь, выполняется по следующему правилу:

$$\frac{1}{[y]} = \begin{cases} \emptyset, [y] = [0,0] \\ \left[\frac{1}{\bar{y}}, \frac{1}{\underline{y}}\right], 0 \notin [y] \\ \left[\frac{1}{\bar{y}}, \infty\right], \underline{y} = 0, \bar{y} > 0 \\ \left[-\infty, \frac{1}{\underline{y}}\right], \bar{y} = 0, \underline{y} < 0 \\ [-\infty, \infty], \underline{y} < 0, \bar{y} > 0 \end{cases}$$

1.3 Отображение параметрического многогранника САУ с интервальными параметрами на корневую плоскость

Пусть режим работы некоторой САУ определяется значениями m интервальных параметров. В таком случае, можно сказать, что система существует в m -мерном пространстве своих параметров, а совокупность всех возможных режимов работы системы ограничивается некоторой фигурой в этом пространстве – параметрическим многогранником. Здесь и далее режимом работы системы будем называть совокупность значений ее интервальных параметров – точку в пространстве, ограниченном параметрическим многогранником

Для наглядности рассмотрим простой пример: САУ второго порядка с передаточной функцией вида:

$$W(S) = \frac{1}{[a_2]*s^2 + [a_1]*s + [a_0]}.$$

Режим работы данной системы определяется значениями трех интервальных параметров: $[a_2], [a_1], [a_0]$. Можно сказать, что совокупность возможных режимов работы системы ограничен кубами в трехмерном пространстве перечисленных параметров.

Очевидно, что внутри этого и любого другого параметрического многогранника можно выделить вершины и ребра.

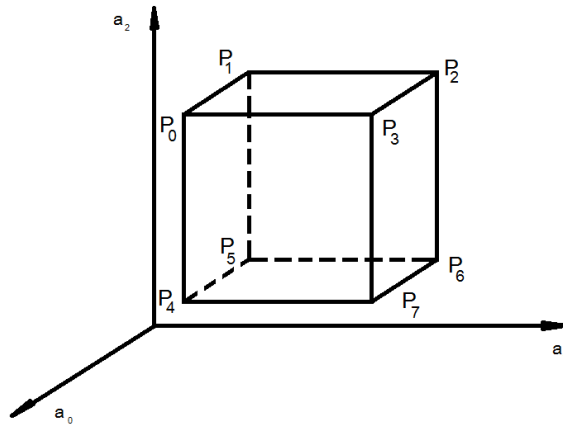


Рисунок 1.1 – Параметрический многогранник системы второго порядка

Количество вершин параметрического многогранника зависит от количества интервальных параметров следующим образом:

$$N = 2^m,$$

где N – количество вершин параметрического многогранника; m – количество интервальных параметров.

Координаты каждой вершины параметрического многогранника представляют собой совокупность экстремальных значений интервалов. Например, координаты $[\overline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$ – это положение вершины P_0 в пространстве параметров системы; вершина P_1 – координаты $[\underline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$. Очевидно, при этом, что ребро P_1P_0 соответствует изменению параметра a_0 от его нижней границы $\underline{a_0}$ до верхней границы $\overline{a_0}$. Стоит отметить, что число ребер параметрического многогранника системы с интервальной неопределенностью определяется следующим уравнением:

$$M = m * 2^{m-1},$$

где M – число ребер параметрического многогранника, m – число интервальных параметров. Действительно, если в системе два интервальных параметра, то параметрический многогранник системы выродится в квадрат с $M = 2 * 2^{2-1} = 4$ ребрами; при трех интервальных параметрах – куб с $M = 3 * 2^{3-1} = 12$ ребрами.

Каждая точка в описываемом параметрическом многограннике определяет набор значений интервальных коэффициентов характеристического уравнения системы со своими координатами. Отметив корни характеристического уравнения в достаточном количестве возможных режимов, получим приблизительный портрет расположения областей их локализации.

1.4 Реберная теорема

При аффинной неопределенности параметров робастная устойчивость системы гарантируется устойчивостью системы на ребра параметрического многогранника.

Именно такой способ анализа САУ с аффинной неопределенностью параметров предлагает теорема, сформулированная в 1987 сотрудниками массачусетского университета в работе «Root Locations of an Entire Polytope of Polynomials: It Suffices to Check the Edges» [19]. Эта теорема гласит, что для определения границ областей локализации корней интервального характеристического полинома достаточно вычислить корни полиномов, описывающих ребра параметрического многогранника.

Геометрически эта теорема выражается в том, что траектории корней реберных полиномов ограничивают области локализации корней всех прочих полиномов из интервального семейства. Иначе говоря, в любом режиме работы системы, корни характеристического полинома системы не окажутся за пределами траекторий, очерченных корнями реберных полиномов.

Рассмотрим практическое применение данной теоремы на примере системы, параметрический многогранник которой представлен на рисунке 1.1.

Пусть поставлена задача: проверить устойчивость системы с аффинной неопределенностью параметров с помощью реберной теоремы. Пусть параметрический многогранник системы изображен на рисунке 1.1. Значения интервальных параметров системы заданы следующим образом:

$$a_0 = [25; 50]; a_1 = [10; 20]; a_2 = [2; 5].$$

Передаточная функция системы имеет вид:

$$W(s) = \frac{a_1 * s + a_0}{a_2 * s^2 + (a_1 + 2 * a_2) * s + a_1 + a_0}.$$

В данном случае, коэффициенты характеристического полинома не равны интервальным параметрам системы, а линейно зависят от них, что соответствует аффинному типу неопределенности.

В первую очередь, составим полиномы, описывающие ребра параметрического многогранника. Для этого, рассмотрим значения коэффициентов интервального характеристического полинома на каждом из ребер. Например, ребру P_0P_1 соответствует изменение коэффициента a_0 внутри заданного интервала; минимальное значение коэффициента a_1 ; максимальное значение коэффициента a_2 . Далее приведем полный список всех двенадцати реберных полиномов для исследуемой системы.

Таблица 1.1 Реберные полиномы исследуемой системы

Ребро	Реберный полином
P_0P_1	$D_1(S) = \overline{a_2} * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * \overline{a_2}) * S + \underline{a_1} + [a_0]$
P_1P_2	$D_2(S) = \overline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \overline{a_2}) * S + [a_1] + \underline{a_0}$
P_2P_3	$D_3(S) = \overline{a_2} * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * \overline{a_2}) * S + \overline{a_1} + [a_0]$
P_3P_0	$D_4(S) = \overline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \overline{a_2}) * S + [a_1] + \overline{a_0}$
P_4P_5	$D_5(S) = \underline{a_2} * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * \underline{a_2}) * S + \underline{a_1} + [a_0]$
P_5P_6	$D_6(S) = \underline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \underline{a_2}) * S + [a_1] + \underline{a_0}$
P_6P_7	$D_7(S) = \underline{a_2} * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * \underline{a_2}) * S + \overline{a_1} + [a_0]$
P_7P_4	$D_8(S) = \underline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \underline{a_2}) * S + [a_1] + \overline{a_0}$
P_0P_4	$D_9(S) = [a_2] * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \underline{a_1} + \overline{a_0}$
P_1P_5	$D_{10}(S) = [a_2] * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \underline{a_1} + \underline{a_0}$
P_2P_6	$D_{11}(S) = [a_2] * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \overline{a_1} + \underline{a_0}$
P_3P_7	$D_{12}(S) = [a_2] * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \overline{a_1} + \overline{a_0}$

Затем, следует вспомнить, что интервальный полином есть по своей сути семейство из полиномов с постоянными параметрами, и найти корни характеристического полинома при нескольких значениях интервального коэффициента. Разместив на комплексной плоскости все корни реберных полиномов при всех значениях интервальных коэффициентов можно получить границы областей локализации корней характеристического уравнения системы – рисунок 1.2. На рисунке 1.2 изображен многопараметрический интервальный корневой годограф (МИКГ) исследуемой системы.

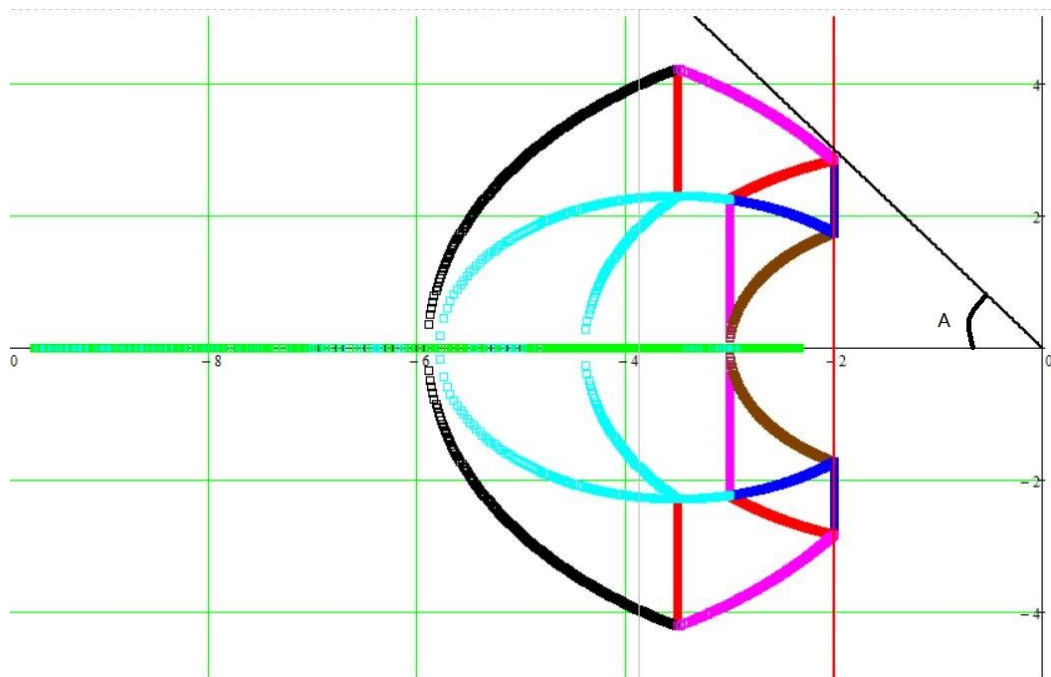


Рисунок 1.2 – МИКГ рассматриваемой системы

Очевидно, что если часть годографа лежит справа от мнимой оси комплексной плоскости, то при заданных границах интервальных параметров в системе существуют такие режимы, в которых система не устойчива; иначе говоря, система не обладает робастной устойчивостью.

Таким образом, система, МИКГ которой представлен на рисунке 1.2, устойчива в любом возможном режиме работы – робастно устойчива.

Степень робастной устойчивости системы, МИКГ которой изображен на рисунке 1.2, равна двум; степень робастной колебательности $\mu = 1.45$ (как тангенс угла A).

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАХОЖДЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА НА РЕБРЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ПОЛИНОМА СИСТЕМЫ С АФФИННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ

2.1 Отображение ребер параметрического многогранника на комплексную плоскость

Для построения корневого годографа системы с аффинной неопределенностью при использовании классического алгоритма по нахождению корневых робастных показателей качества, выполняется следующая последовательность действий:

1. ввод информации о системе в специализированный программный математический пакет (Mathcad) – ввод передаточной функции системы, значений интервальных параметров; получение характеристического полинома системы;
2. построение матриц реберных полиномов системы;
3. формирование последовательности значений интервальных параметров;
4. нахождение корней реберных полиномов и отображение их на комплексной плоскости.

В первую очередь введем в систему информацию о передаточной функции и значениях интервальных параметров. Для примера возьмем передаточную функцию замкнутой системы вида:

$$W = \frac{1}{s^3 + 100 \cdot s^2 + [a_2 + 2a_1 + 2a_0 + 20] \cdot s + [2a_2 + a_1 + 5a_0 + 5]} \quad (1)$$

Значения интервальных параметров заданы следующим образом:

$$a_2 = [0; 50]; a_1 = [0; 50]; a_0 = [0; 50]$$

С помощью встроенных функций Mathcad выделим из передаточной функции характеристический полином системы и сформируем вектор его коэффициентов в общем виде.

$$D(s, k1, k2, k3) := \text{denom}(W(s, k1, k2, k3)) \rightarrow 2 \cdot k1 + k2 + 5 \cdot k3 + 20 \cdot s + 100 \cdot s^2 + s^3 + k1 \cdot s + 2 \cdot k2 \cdot s + 2 \cdot k3 \cdot s + 5$$

$$C(k1, k2, k3) := D(s, k1, k2, k3) \text{ coeffs, } s \rightarrow \begin{pmatrix} 2 \cdot k1 + k2 + 5 \cdot k3 + 5 \\ k1 + 2 \cdot k2 + 2 \cdot k3 + 20 \\ 100 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.1 – Характеристический полином системы и вектор, характеризующий зависимость его коэффициентов от интервальных параметров

Построение реберных полиномов будет заключаться в построении векторов их коэффициентов. Каждый такой вектор будет состоять из одного интервального параметра; остальные два параметра будут заменены своими максимальными или минимальными значениями. Рассмотрим формирование четырех из двенадцати реберных полиномов.

$$\begin{aligned} C11(k1) &:= C(k1, \min(k2), \min(k3)) & C21(k2) &:= C(\min(k1), k2, \min(k3)) & C31(k3) &:= C(\min(k1), \min(k2), k3) \\ C12(k1) &:= C(k1, \min(k2), \max(k3)) & C22(k2) &:= C(\min(k1), k2, \max(k3)) & C32(k3) &:= C(\min(k1), \max(k2), k3) \\ C13(k1) &:= C(k1, \max(k2), \min(k3)) & C23(k2) &:= C(\max(k1), k2, \min(k3)) & C33(k3) &:= C(\max(k1), \min(k2), k3) \\ C14(k1) &:= C(k1, \max(k2), \max(k3)) & C24(k2) &:= C(\max(k1), k2, \max(k3)) & C34(k3) &:= C(\max(k1), \max(k2), k3) \end{aligned}$$

Рисунок 2.2 – Формирование реберных полиномов

Далее сформируем последовательность значений интервальных параметров как показано на рисунке ниже.

$$N := 200 \quad i := 0..N - 1 \quad j := 0.. \text{rows}(C(k1, k2, k3)) - 2$$

$$kI_i := \min(k1) + i \cdot \frac{\max(k1) - \min(k1)}{N - 1}$$

$$kII_i := \min(k2) + i \cdot \frac{\max(k2) - \min(k2)}{N - 1}$$

$$kIII_i := \min(k3) + i \cdot \frac{\max(k3) - \min(k3)}{N - 1}$$

Рисунок 2.3 – Формирование последовательностей значений интервальных параметров

Таким образом, получим векторы из N равномерно распределенных внутри интервала значений параметров системы. Подставляя эти векторы в

функции на рисунке 2.2, получим по $12 \cdot N$ векторов коэффициентов. Подставляя эти векторы в функцию `polyroots`, получим траектории движения корней реберных полиномов.

$R11_i := \text{polyroots}(C11(kI_i))$	$R21_i := \text{polyroots}(C21(kII_i))$	$R31_i := \text{polyroots}(C31(kIII_i))$
$R12_i := \text{polyroots}(C12(kI_i))$	$R22_i := \text{polyroots}(C22(kII_i))$	$R32_i := \text{polyroots}(C32(kIII_i))$
$R13_i := \text{polyroots}(C13(kI_i))$	$R23_i := \text{polyroots}(C23(kII_i))$	$R33_i := \text{polyroots}(C33(kIII_i))$
$R14_i := \text{polyroots}(C14(kI_i))$	$R24_i := \text{polyroots}(C24(kII_i))$	$R34_i := \text{polyroots}(C34(kIII_i))$

Рисунок 2.4 – Нахождение корней реберных полиномов

Отобразим полученные корни на комплексную плоскость.

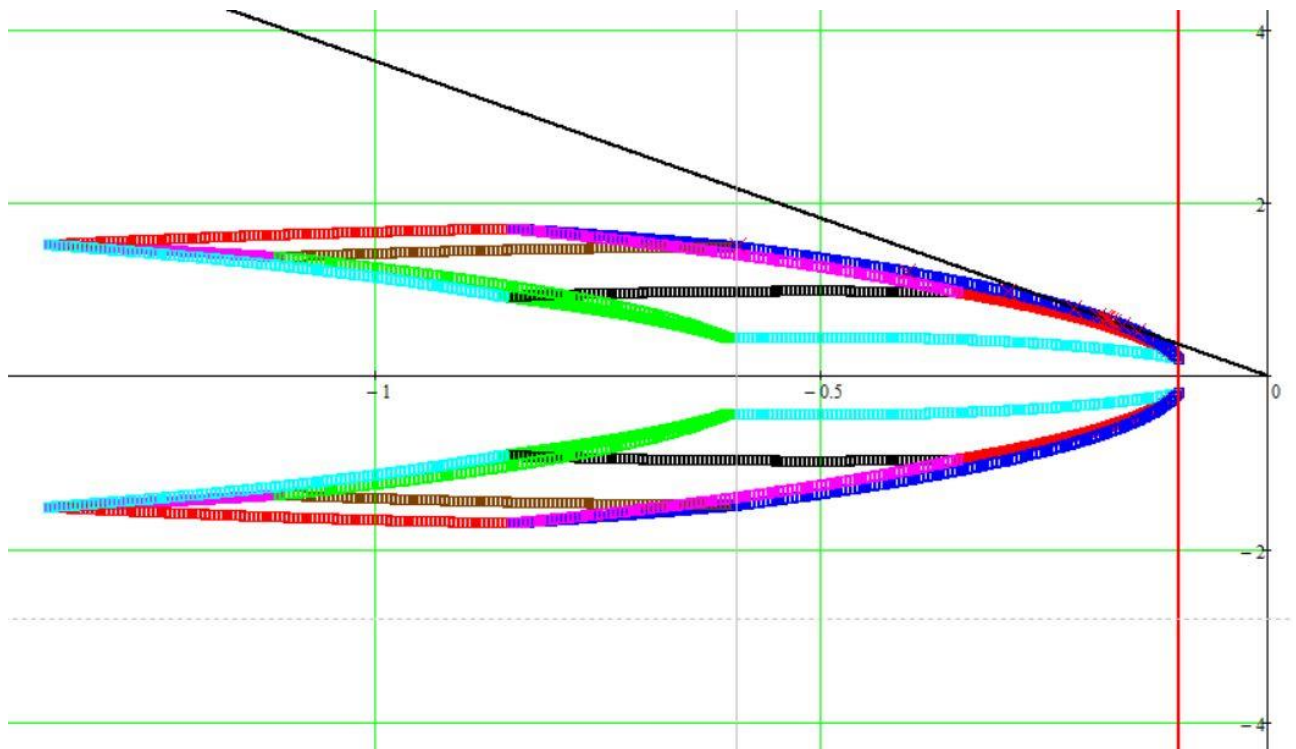


Рисунок 2.5 – Отображение корней реберных полиномов

Очевидно, что система, МИКГ которой представлен на рисунке 2.5, устойчива в любом возможном режиме работы – робастно устойчива.

Кроме самого факта устойчивости или неустойчивости системы с помощью МИКГ можно, по аналогии с линейными стационарными системами, определить степень робастной устойчивости и степень робастной

колебательности. Степень робастной устойчивости системы, МИКГ которой изображен на рисунке 2.5, равна -0,1; степень робастной колебательности $\mu = 3,6$ (как тангенс угла A).

Но получение результатов, рассчитанных этим методом, займет достаточно продолжительное время из-за большого количества вычислений корней (т.к. для получения точного заключения необходимо найти значение тангенса угла A для каждого корня ребра параметрического многогранника, заданного с определенным, достаточно малым, шагом). Для оптимизации количества вычислений предлагается использовать метод золотого сечения.

2.2 Использовать метод золотого сечения для анализа каждого ребра

Метод золотого сечения – метод поиска экстремума действительной функции одной переменной на заданном отрезке. В основе метода лежит принцип деления отрезка в пропорциях золотого сечения [20].

Пусть задана функция $f(x): [a, b] \rightarrow R, f(x) \in C([a, b])$. Тогда для того, чтобы найти неопределённое значение этой функции на заданном отрезке, отвечающее критерию поиска (пусть это будет минимум), рассматриваемый отрезок делится в пропорции золотого сечения в обоих направлениях, то есть выбираются две точки x_1 и x_2 такие, что:



Рисунок 2.6 – Метод золотого сечения

$$\frac{b-a}{b-x_1} = \frac{b-a}{x_2-a} = \phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1.618,$$

где ϕ – пропорция золотого сечения.

Таким образом:

$$x_1 = b - \frac{(b-a)}{\phi}$$

$$x_2 = a + \frac{(b-a)}{\phi}$$

Формализация:

1. **Шаг 1.** Задаются начальные границы отрезка a, b и точность ϵ .

2. **Шаг 2.** Рассчитываются начальные точки деления:

$x_1 = b - \frac{(b-a)}{\phi}, x_2 = a + \frac{(b-a)}{\phi}$ и значения в них целевой функции: $y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2)$.

- Если $y_1 > y_2$ (для поиска $\max$ изменить неравенство на $y_1 \leq y_2$), то $a = x_1$;
- Иначе $b = x_2$.

3. **Шаг 3.**

- Если $|b-a| < \epsilon$, то $x = \frac{a+b}{2}$ и завершить алгоритм;
- Иначе возврат к шагу 2.

В нашей системе есть три интервальных параметра a_2, a_1, a_0 , то есть число ребер $M=12$.

И эти 12 ребер можно разделить на три группы:

- a_2 и a_1 постоянны, a_0 изменяется;
- a_2 и a_0 постоянны, a_1 изменяется;
- a_1 и a_0 постоянны, a_2 изменяется.

Мы выбираем один из ребер для анализа: a_2 и a_1 – минимальное значение, a_0 изменяется.

Узел U_1 при $a_0 = 0$ имеет три корня:

$$s^3 + 100s^2 + (20)s + 5.0 = 0 \text{ solve} \rightarrow \begin{pmatrix} -99.800101407020186098 \\ -0.09994929648990695088 + 0.20027552927178048469i \\ -0.09994929648990695088 - 0.20027552927178048469i \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.7 – Корни при узле U_1

Узел U_2 при $a_0 = 50$ также имеет три корня:

$$s^3 + 100s^2 + (120)s + 255.0 = 0 \text{ solve} \rightarrow \begin{pmatrix} -98.811685756862736466 \\ -0.59415712156863176715 - 1.4925293101329072983i \\ -0.59415712156863176715 + 1.4925293101329072983i \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.8 – Корни при узле U_2

В узле U_1 степени робастной колебательности $\mu_1 = 2$, а в узле U_2 степени робастной колебательности $\mu_2 = 2,5$.

С помощью метода золотого сечения, определяем значения расчетных точек $a_{01} = 19,1$; $a_{02} = 30,9$.

$$s^3 + 100s^2 + (58.2)s + 100.5 = 0 \text{ solve} \rightarrow \begin{pmatrix} -99.424799586922929315 \\ -0.28760020653853534246 + 0.96337963892535951273i \\ -0.28760020653853534246 - 0.96337963892535951273i \end{pmatrix}$$

При $a_0 = 19,1$ получаем степени робастной колебательности, равное 3,35:

$$s^3 + 100s^2 + (81.8)s + 159.5 = 0 \text{ solve} \rightarrow \begin{pmatrix} -99.191543988499102012 \\ -0.40422800575044899413 - 1.2019150102270776821i \\ -0.40422800575044899413 + 1.2019150102270776821i \end{pmatrix}$$

При $a_0 = 30,9$ получаем степень робастной колебательности, равное 3. Следовательно, следующий рассматриваемый диапазон, в котором расположен экстремум функции, равен $a_0 = [0; 30,9]$.

Продолжим применение метод золотого сечения: возбмем $a_{01} = 11,8038$; $a_{02} = 19,4052$.

При $a_0 = 11,8038$ получаем степени робастной колебательности, равную 3,579.

При $a_0 = 19.4052$ получаем степени робастной колебательности, равную 3,34. Следовательно, следующий рассматриваемый диапазон, в котором расположен экстремум функции, равен $a_0 = [0 \ 19,4052]$

Многократно используя применение метода золотого сечения, можем найти экстремум функции и получить вывод: для ребра при изменении a_0 и при заданных значениях a_1 , a_2 , степень робастной колебательности равна 3,63.

В данной работы я использовал язык JAVA для реализации вычислений.

2.3 Объединение найденных глобальных экстремумов для каждого ребра из минимального реберного маршрута и нахождение робастных корневых показателей качества всей системы

Для того, чтобы получить робастную колебательность всей системы, необходимо вычислить значение степени робастной колебательности каждого ребра. Затем, сравнивая полученные значения, следует определить максимальное значение. Это максимальное значение и будет являться значением робастной степени устойчивости всей системы при любых значениях ее интервальных параметров внутри заданных диапазонов.

3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ

Данная программа была реализована с помощью программного продукта eclipseIDE 2018-12. И написана на языке JAVA.

Eclipse – свободная интегрированная среда разработки модульных кроссплатформенных приложений. Развивается и поддерживается Eclipse Foundation [21].

Eclipse служит в первую очередь платформой для разработки расширений, чем он и завоевал популярность: любой разработчик может расширить Eclipse своими модулями. Уже существуют Java Development Tools (JDT), C/C++ Development Tools (CDT), разрабатываемые инженерами QNX совместно с IBM, и средства для языков Ada (GNATbench, Hibachi), COBOL, FORTRAN, PHP, X10 (X10DT) и пр. от различных разработчиков. Множество расширений дополняет среду Eclipse диспетчерами для работы с базами данных, серверами приложений и др.

Java – язык программирования от компании Sun microsystems. Изначально разрабатывался как язык для программирования электронных устройств, но позже стал использоваться для написания приложений серверного ПО. Программы на Java – кроссплатформенные, то есть способны работать на любых операционных системах [22].

Основы программирования на языке Java Java как язык с поддержкой объектного ориентирования отвечает основным принципам ООП: наследование; полиморфизм; инкапсуляция.

В центре Java, как и в других объектно-ориентированных языках, – объект и класс с конструкторами и свойствами. Начинать обучение языку программирования Java лучше не с официальных ресурсов, а с пособий для новичков. В таких мануалах подробно описываются возможности, предоставляются примеры кода. В книгах наподобие "Язык программирования Java для начинающих" подробно разъясняются основные принципы и

особенности названного языка. Особенности Код на языке программирования Java транслируется в байт-код, затем выполняется на виртуальной машине JVM. Преобразование в байт-код осуществляется на Javac, Jikes, Espresso, GCJ.

3.1 Структура программы

Программа представляет собой совокупность классов в которых содержатся методы, переменные, условия, которые необходимы для взаимодействия с другими классами и в конечном итоге способствуют реализации программы. В программе использовались такие классы как: Вкр1 и Test22.

В классе Вкр1 реализован метод вычисления одномерного кубического уравнения.

В классе Test22 включены такие метод, как a0Change (), a1Change (), a2Change (), initUI (), a (), b (), c (), d (), findK () и main ().

Метод initUI () реализован интерфейс пользователя, в который входят:

- JTextField jtf1-jtf16 - ввод коэффициент.
- JTextField jtf17-jtf22 - ввод диапазонов.
- JTextField jtf23 - выводит максимальные значения степени робастной колебательности.
- JButton jb1 - по событию данной кнопки производится расчёт максимального значения степени робастной колебательности.
- JButton jb2 - по событию данной кнопки очищается все содержимое.

Метод a0Change () предназначен для расчета степени робастной колебательности μ ребра, который изменяется по интервалу a_0 , в который входят:

- Double x1-x16 - коэффициенты, введенные из пользовательского интерфейса.
- Double a0Min, a0Max - минимальный и максимальный значения a_0 .

Метод `a1Change ()` предназначен для расчета степени робастной колебательности μ ребра, который изменяется по интервалу $a1$.

Метод `a2Change ()` предназначен для расчета степени робастной колебательности μ ребра, который изменяется по интервалу $a2$.

Метод `a ()`, `b ()`, `c ()`, `d ()` предназначен для расчета значения коэффициенты a , b , c , d каждого порядка s на основе входных параметров.

Метод `findK ()` предназначен для вычисления значения тангенс угла между корневым узлом и нулевой точкой.

Метод `main ()`, который исполняет специфическую задачу. Это место, с которого начинается выполнение всех приложений Java. Класс, который не имеет основного метода, может быть успешно откомпилирован, но не может быть выполнен, поскольку он не имеет отправной точки выполнения, которой является `main ()` метод.

Далее анализируем алгоритм, который реализованный в методе `a0Change ()`. Блок-схема алгоритма для расчета μ при каждом ребре как показано рисунок 3.1.

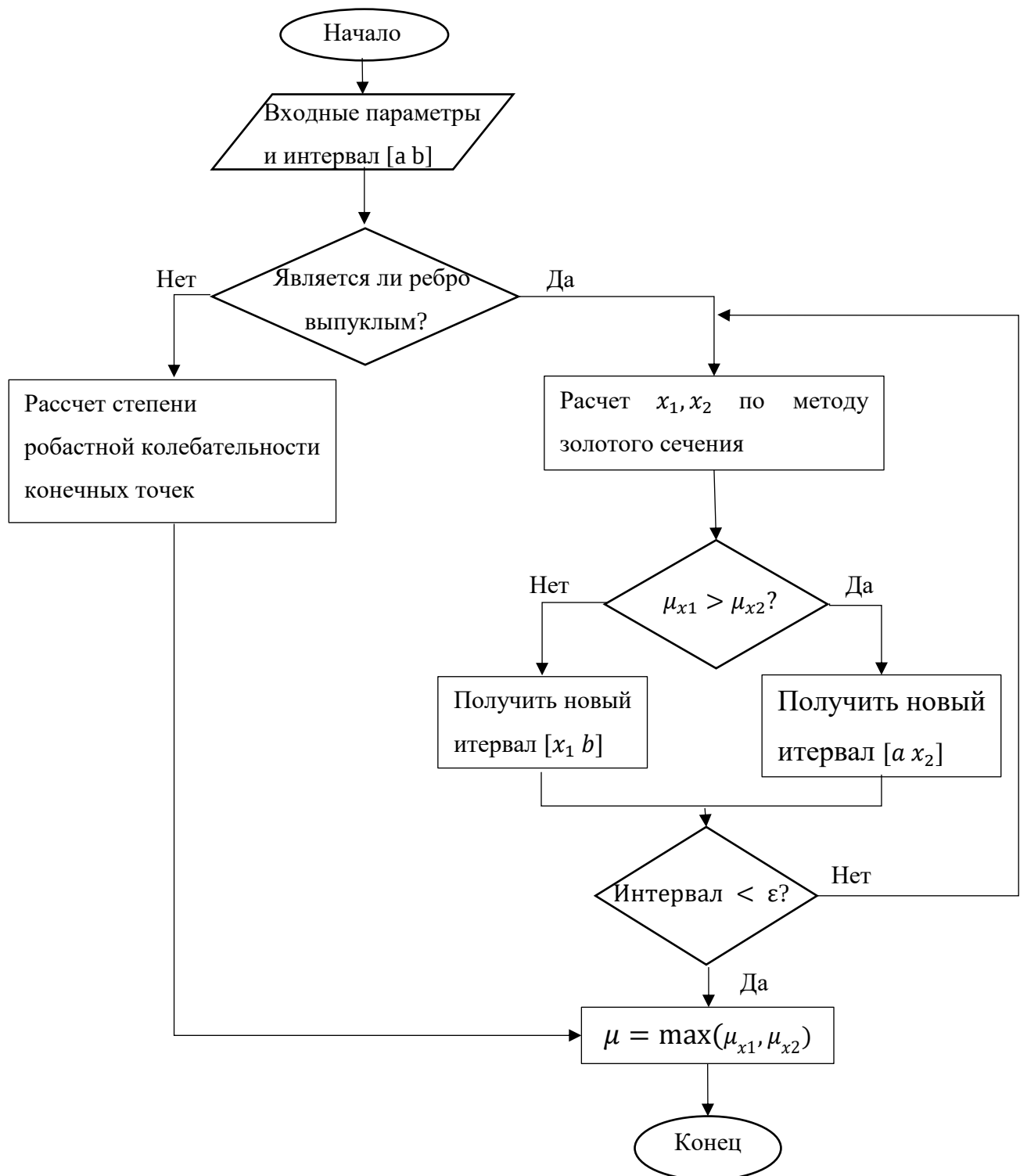


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритма для расчета μ при каждом ребре

Для каждого ребра есть два случая для определения его степени робастной колебательности (μ):

- когда отображение границы ребра является экстремумом (вогнутое ребро).

- когда отображение границы ребра является не экстремумом (выпуклое ребро).

Для первого случая изображение степени робастной колебательности (μ) выглядит следующим образом:

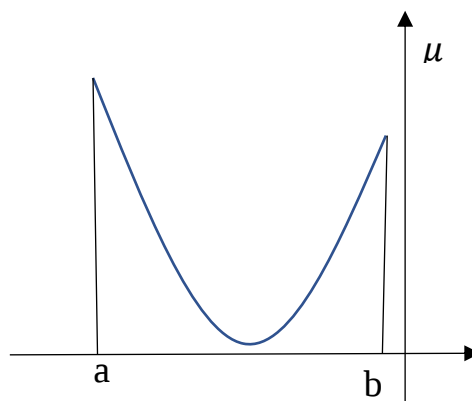


Рисунок 3.2 – Изображение, когда ребро вогнутое

В этом случае максимальное значение μ должно быть в двух конечных точках.

Для второго случая, изображение степени робастной колебательности (μ) выглядит следующим образом:

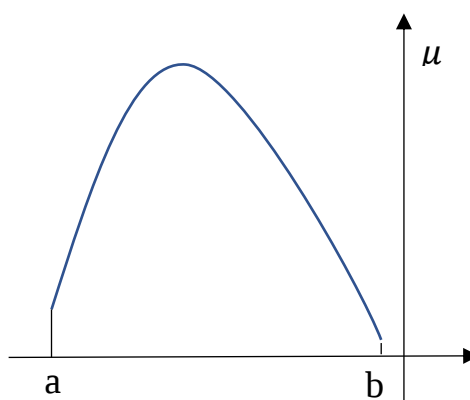


Рисунок 3.3 – Изображение, когда ребро выпуклое

В этом случае максимальное значение μ должно быть между двух конечных точек. В этом случае требуется найти значение робастной степени устойчивости с использованием золотого сечения:

$$x_1 = b - \frac{(b - a)}{\phi},$$

$$x_2 = a + \frac{(b - a)}{\phi},$$

где $\phi = 1,618$.

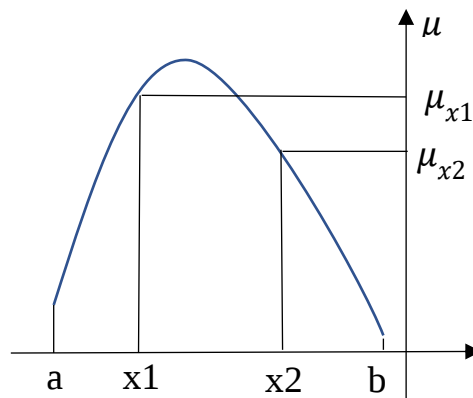


Рисунок 3.4 – Изображение, когда использовать метод золотого сечения

Затем следует сравнить два значения μ_{x1} и μ_{x2} . Если μ_{x1} больше, то необходимо изменить рассматриваемый интервал на $[a, x_2]$. Если μ_{x2} больше, то изменить интервал на $[x_1, b]$.

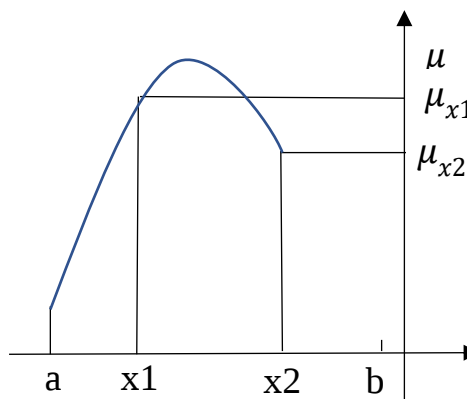


Рисунок 3.5 – Изображение, найден новый интервал

Наконец, следует рассчитать новые границы интервала, в которых находится требуемый экстремум функции, и повторить вышеуказанный алгоритм, если длина полученного интервала больше, чем заранее заданная ошибка.

3.2 Программная реализация

Вышеуказанные функции реализованы в JAVA с помощью следующего кода:

Сначала определяем, является ли ребро выпуклым или вогнутым. Если ребро вогнутое, то только нужно сравнить значения степеней колебательности двух граничных вершин ребра и определить их наибольшее значение:

```
ma1 = bkp1.Find(a, b, c(a2, a1, 0), d(a2, a1, 0));
Kma1 = findK(ma1);
ma2 = bkp1.Find(a, b, c(a2, a1, 0.01), d(a2, a1, 0.01));
Kma2 = findK(ma2);
ma3 = bkp1.Find(a, b, c(a2, a1, 50), d(a2, a1, 50));
Kma3 = findK(ma3);
ma4 = bkp1.Find(a, b, c(a2, a1, 49.99), d(a2, a1, 49.99));
Kma4 = findK(ma4);
double maxK = Math.max(Kma1, Kma3);

if (maxK > Kma2 && maxK > Kma4) {
    return maxK;
}
```

Если ребро выпуклое, то использовать метод золотого сечения

```
else {
    while (interval >= 0.001) {
        n = a0Min + interval * 0.382;
        map1 = bkp1.Find(a, b, c(a2, a1, n), d(a2, a1, n));
        k1 = findK(map1);

        m = a0Min + interval * 0.618;
        map2 = bkp1.Find(a, b, c(a2, a1, m), d(a2, a1, m));
        k2 = findK(map2);

        if (k1 > k2) {
            a0Max = m;
            a0 = m;
        } else {
            a0Min = n;
            a0 = n;
        }
        interval = a0Max - a0Min;
    }
    return Math.max(k1, k2);
}
```

}

a_{0Min} – минимальное значение a_0 .

a_{0Max} – максимальное значение a_0 .

Interval – интервал при минимальное значение a_0 и максимальное значение a_0 .

3.3 Интерфейс пользователя

Также в JAVA создано окно для визуального представления ввода параметров и представления результата.

анализ САУ с аффинной неопределенностью параметров

уравнение: $a*s^3+b*s^2+c*s+d=0$

$a=x_1*a_2+y_1*a_1+z_1*a_0+m_1$; $b=x_2*a_2+y_2*a_1+z_2*a_0+m_2$; $c=x_3*a_2+y_3*a_1+z_3*a_0+m_3$; $d=x_4*a_2+y_4*a_1+z_4*a_0+m_4$

a: x y z m

b: x y z m

c: x y z m

d: x y z m

a2 --

a1 --

a0 --

Kmax

Рисунок 3.6 – Интерфейс пользователя

Форма уравнения, которую может использовать программа:

$$a * s^3 + b * s^2 + c * s + d = 0$$

где a, b, c, d – коэффициенты каждого порядка s,

и коэффициенты a, b, c, d связан с a_2 , a_1 , a_0 ,

x, y, z, m-коэффициент a, b, c, d.

The form contains four rows of input fields. Each row is labeled 'a:', 'b:', 'c:', and 'd:' respectively. Each label is followed by 'x', 'y', 'z', and 'm', each with its own input box. For example, the first row is 'a: x [] y [] z [] m []'.

Рисунок 3.7 – Ввод коэффициентов

В пространстве на рисунке 3.7 заполнить соответствующие параметры в соответствии с уравнением.

The form contains three rows of input fields. Each row is labeled 'a2', 'a1', and 'a0' respectively. Each label is followed by an input box, a double dash '--', and another input box. For example, the first row is 'a2 [] -- []'.

Рисунок 3.8 – Ввод интервалов

В пространстве на рисунке 3.8 заполнить диапазон значений интервальными параметрами.

The form contains a single row with a label 'Kmax' followed by an input box. To the right of the input box are two buttons: 'Рассчитать' (Calculate) and 'Reset'.

Рисунок 3.9 – Получение результата

Пользователю необходимо ввести параметры интервального характеристического полинома в указанном виде и нажать кнопку «Рассчитать»:

анализ САУ с аффинной неопределенностью параметров

уравнение: $a \cdot s^3 + b \cdot s^2 + c \cdot s + d = 0$

$a = x_1 \cdot a_2 + y_1 \cdot a_1 + z_1 \cdot a_0 + m_1$; $b = x_2 \cdot a_2 + y_2 \cdot a_1 + z_2 \cdot a_0 + m_2$; $c = x_3 \cdot a_2 + y_3 \cdot a_1 + z_3 \cdot a_0 + m_3$; $d = x_4 \cdot a_2 + y_4 \cdot a_1 + z_4 \cdot a_0 + m_4$

a: x y z m

b: x y z m

c: x y z m

d: x y z m

a2 --

a1 --

a0 --

Kmax

Рисунок 3.10 – Получение результата

В результате получили 12 значений степеней колебательности при всех 12 ребрах. В итоге получаем робастное значение колебательности, которое является максимальным значением среди всех найденных значений показательности для каждого из ребер:

```
k1=3.6324799391199725
k2=1.2512808057927356
k3=1.150374529199164
k4=2.7883705551542977
k5=2.003774142849549
k6=2.512011143100448
k7=2.7883705551542977
k8=2.0105401396335507
k9=3.2590977473769547
k10=2.512011143100448
k11=1.0715588519975285
k12=1.2394187556920322
Kmax=3.6324799391199725
```

Рисунок 3.11 – Рассчитанные показатели колебательности μ для всех ребер

Далее, сравнивая этих двенадцати значений, получаем максимальное значение:

$$\mu_{max} = 3.6325,$$

следовательно, степень робастной колебательности этой системы равно 3,6325.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется главным образом коммерческой ценностью разработки, а не только ее ресурс - эффективностью и высокотехнологичными свойствами, которые в начале разработки продукта бывает достаточно трудно оценить. Высокая коммерческая ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Эти моменты важно учитывать разработчикам, которые должны представлять высокие перспективы проводимых научных исследований.

Таким образом, целью работы является проведение таких научных исследований, тема которых актуальна на сегодняшний день и отвечает современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений помогает внести коррективы в проект, чтобы успешнее противостоять соперникам. При проведении данного анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны конкурентов. Для этого составлена оценочная карта (табл.4.1).

Объектом анализа является материал тепловой изоляции для трубопроводов тепловых сетей.

Для сравнения могут быть взяты два основных вида материала тепловой изоляции, которые используются в России: минеральная вата с различными защитными покрытиями и ППУ в защитной оболочке.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Надежность	0,13	4	5	0,52	0,65
2. Долговечность	0,13	3	5	0,39	0,65
3. Экологическая безопасность	0,12	4	5	0,48	0,6
4. Технологичность при изготовлении и при монтаже теплопроводов	0,11	4	5	0,44	0,55
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,11	4	4	0,44	0,44
2. Цена	0,15	5	4	0,75	0,6
3. Время прокладки	0,11	4	5	0,44	0,55
4. Потери тепла	0,14	3	4	0,42	0,56
Итого	1			3,88	4,60

При оценке качества используется два типа критериев: технические и экономические.

Веса показателей в сумме составляют 1. Баллы по каждому показателю оцениваются по пятибалльной шкале.

Конкурентоспособность конкурента К

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Полученные результаты расчета сведены в таблицу 4.1. В строке «Итого» указана сумма всех конкурентоспособностей по каждому из материалов тепловой изоляции для трубопроводов тепловых сетей.

Одним из важных направлений эффективности теплоснабжения в современных системах является снижение тепловых потерь в тепловых сетях. Тепловой изоляции из ППУ по сравнению с изоляцией из минеральной ваты характерно значительное снижение потерь тепла вследствие более низкого коэффициента теплопроводности.

Трубы с ППУ изоляцией являются более надежной конструкцией, которая приводит к несколько большей первоначальной стоимости тепловых сетей. Тем не менее за счет высокого качества трубопроводов затраты на их техническое обслуживание снижаются, вследствие чего стоимость тепловых сетей, приведенная к одному году эксплуатации, уменьшается по сравнению с аналогичной тепловой сетью с теплоизоляцией из минеральной ваты.

Анализ технических решений теплоизоляционных материалов показал, что наиболее эффективным и не дорогим (по показателю стоимости тепловых сетей, приведенной к одному году эксплуатации) является пенополиуретан.

В добавлении к анализу технических решений проведено сравнение теплоизоляционных материалов по физико-техническим показателям (табл.4.2).

Таблица 4.2 – Сравнение теплоизоляционных материалов по физико-техническим показателям [14]

Показатели	Теплоизоляционный материал	
	Минеральная вата	ППУ
Плотность, кг/м ³	50-200	40-70
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	0,045-0,056	0,021-0,035
Температура применения, °С	От минус 180 до 400	От минус 180 до 150
Водопоглощение, % (по массе)	10-15	2

Срок эксплуатации, год	3	40-50
Группа горючести	Не горючие	Г3, Г4

Из таблицы 4.2 видно, что у пенополиуретана меньшее водопоглощение по сравнению с изоляцией из минеральной ваты, то есть пенополиуретан более устойчив к влаге.

К преимуществам трубопроводов с теплоизоляцией из пенополиуретана можно отнести низкий коэффициент теплопроводности и большой срок эксплуатации.

ППУ относится к горючим веществам, но взрывобезопасен.

Ограничением в применении изоляции из пенополиуретана в тепловых сетях является температура применения, в то время как изоляция из минеральной ваты может применяться в широком диапазоне температур.

4.2 Календарный план работ и оценка времени их выполнения

Для выполнения исследований по данной работе создана рабочая группа, состоящая из руководителя и студента. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

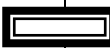
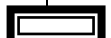
Был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, а также распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.3. В таблице 4.4 представлен календарный план выполнения работ.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность, дни
Разработка и выдача технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	1
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20

Выбор направления исследований	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	1
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	1
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	25
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер	55
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер	3
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	5
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, инженер	1
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка стенда для выполнения проекта	Инженер	2
	11	Выбор и расчет стенда	Инженер	2
	12	Оценка эффективности работы и применения проектируемого изделия	Инженер	3
	13	Лабораторные испытания макета	Инженер	11
Оформление комплекта документации по ВКР	14	Составление пояснительной записки	Инженер	33
	15	Проверка пояснительной записки	Руководитель, инженер	4

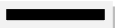
Таблица 4.4 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Декабрь		Январь				Март						
				15	16	4	5	6	29	8	13	17	18	20	22	25
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	1													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20													
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер	1													
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	1													
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	25													
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер	55													
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер	3													
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер	5													
9	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, инженер	1													

Продолжение таблицы 4.4 – Календарный план-график проведения ВКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Декабрь		Январь				Март						
				15	16	4	5	6	29	8	13	17	18	20	22	25
10	Разработка стенда для выполнения проекта	Инженер	2													
11	Выбор и расчет стенда	Инженер	2													
12	Оценка эффективности работы и применения проектируемого изделия	Инженер	3													

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ					
				март		апрель		Май	
				25	26	3	12	12	13
13	Лабораторные испытания макета	Инженер	11						
14	Составление пояснительной записки	Инженер	33						
15	Проверка пояснительной записки	Научный руководитель, инженер	4						

Научный руководитель - 

Инженер - 

Таким образом, был оценен объем необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека - научный руководитель и инженер. Научный руководитель участвует в работе в течении 13 дней, инженер- 167 дней.

4.3 Смета затрат на проект

Затраты на выполнения проекта ($K_{пр}$) складываются из следующих составляющих:

$$K_{пр} = K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о.} + K_{пр} + K_{накл},$$

где $K_{мат}$ – материальные затраты на выполнение проекта;

$K_{ам}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$ – затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные расходы.

4.3.1 Материальные затраты

Материальные затраты принимаем в размере 2200 рублей на канцелярские товары.

4.3.2 Амортизация компьютерной техники

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники $K_{ам}$:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot C_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}},$$

где $T_{исп.кт}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{кал}$ – календарное время (365 дней);

$C_{кт}$ – цена компьютерной техники;

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

Затраты и время работы компьютерной техники сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Стоимость и время работы компьютерного оборудования

Объект	Стоимость, руб.	Время использования, дней.
Компьютер	65000	87

Тогда амортизация составит

$$K_{\text{ам.компьютера}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{87}{365} \cdot 65000 \cdot \frac{1}{5} = 3099 \text{ руб};$$

$$K_{\text{ам}} = K_{\text{ам.компьютера}} = 3099 \text{ руб.}$$

4.3.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата рассчитывается для инженера и научного руководителя:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж}} + 3П_{\text{нр}}$$

где $3П_{\text{инж}}$ – заработная плата инженера;

$3П_{\text{нр}}$ – заработная плата научного руководителя.

Заработная плата за месяц:

$$3П_{\text{мес}} = 3П_0 \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где $3П_0$ – месячный оклад, руб;

k_1 – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

k_2 – районный коэффициент (30%).

Заработная плата научного инженера (10 разряд):

$$3П_{\text{инж}} = 3П_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб},$$

Заработная плата научного руководителя (15 разряд):

$$3П_{\text{мес}} = 3П_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб},$$

Рассчитаем заработную плату за количество отработанных дней по факту:

$$3П_{\text{инж.фак.}} = \frac{3П_{\text{нр}}}{21} \cdot n = \frac{24310}{21} \cdot 167 = 193322 \text{ руб},$$

$$3П_{\text{нр.фак.}} = \frac{3П_{\text{нр}}}{21} \cdot n = \frac{37609}{21} \cdot 13 = 23282 \text{ руб.}$$

где n – фактическое число дней работы в проекте.

В итоге затраты на оплату труда руководителя ВКР и инженера составят:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж.фак.}} + 3П_{\text{нр.фак.}} = 193322 + 23282 = 216604 \text{ руб.}$$

4.3.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные отчисления составляют 30% от $K_{з/пл}$ и равны:

$$K_{с.о.} = K_{з/пл} \cdot 0,3 = 216604 \cdot 0,3 = 64981 \text{руб.}$$

4.3.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаем в размере 10% от суммы материальных и амортизационных затрат, затрат на заработную плату, а также затрат на социальные отчисления:

$$\begin{aligned} K_{пр} &= (K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о.}) \cdot 0,1 \\ &= (2200 + 3099 + 216604 + 64981) \cdot 0,1 = 28688 \text{руб.} \end{aligned}$$

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы принимаем в размере 200% от затрат на заработную плату $K_{з/пл}$:

$$K_{накл} = K_{з/пл} \cdot 2 = 216604 \cdot 2 = 433208 \text{руб.}$$

Составим итоговую смету затрат на выполнения проекта:

Таблица 4.6 – Смета проекта

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	2200
Амортизационные затраты	3099
Затраты на заработную плату	216604
Социальные отчисления	64981
Прочие затраты	28688
Накладные расходы	433208
Итого:	748780

4.4 Определение капиталовложений в тепловую сеть

Капиталовложения в тепловую сеть

$$K_{вл} = C_{тр} \cdot (1 + \alpha_{тр}) + Z_{монт},$$

где $C_{тр}$ – цена материала, руб;

$Z_{монт}$ – стоимость монтажных работ, руб.

Цена материала складывается из цены труб и цены изоляции

$$C_{тр} = C_{трруб} + C_{из} \cdot L_{тс},$$

где $C_{трруб}$ – цена одного погонного метра трубы, руб/м.

Цена трубы за 1 м составляет 63250 руб. Зная, что вес 1 м трубы 157,8 кг, 1 труба длиной 11,5 м, следовательно, 6,34 м трубы в 1 т. На тепловую трассу длиной 31000 м требуется 4891,8 т, и соответственно $C_{трруб} = 309406350$ руб/м;

$C_{из}$ – цена изоляции для одного погонного метра трубы, из $C_{из} = 15400$ руб;

$L_{тс}$ – длина всей тепловой сети (подающего и обратного трубопровода), .
тс $L_{тс} = 31000$ м.

$$C_{тр} = 309406350 + 1540 + 31000 = 786806350 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажных работ

$$З_{монт} = C_{монт} \cdot L_{тс},$$

где $C_{монт}$ – цена работы по монтажу одного погонного метра тепловой трассы, $C_{монт} = 15000$ руб/м [26].

$$З_{монт} = 15000 \cdot 31000 = 465000000 \text{ руб.}$$

$$K_{вл} = 115964800 \cdot (1 + 0,15) + 465000000 = 1798595200 \text{ руб.}$$

Таблица 4.7 – Капиталовложения в тепловую сеть

Наименование затрат	Цена, руб.
Стоимость труб	309406350
Стоимость изоляции	477400000
Стоимость монтажных работ	465000000
Стоимость проектирования	298036,6
Итого, Квл	1798595200

4.5 Определение эксплуатационных издержек

Эксплуатационные ежегодные издержки

$$И = З_{рем} + З_{зп} \cdot (1 + \alpha_{сс}) \cdot (1 + \alpha_{доп}) + З_{перек} + З_{ам} + З_{пот},$$

где $З_{рем}$ – затраты на ремонт теплотрассы, руб/год;

$Z_{\text{зп}}$ – затраты на обслуживание, руб/год;

$\alpha_{\text{сс}}$ – отчисления на социальное страхование, $\alpha_{\text{сс}} = 0,3$;

$\alpha_{\text{доп}}$ – отчисления на дополнительную заработную плату, $\alpha_{\text{доп}} = 0,2$;

$Z_{\text{перек}}$ – затраты на перекачку теплоносителя через тепловую сеть, руб/год;

$Z_{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления, руб/год;

$Z_{\text{пот}}$ – потери тепла в трубопроводах, руб/год.

Затраты на ремонт теплотрассы

$$Z_{\text{рем}} = C_{\text{рем}} * L_{\text{тс}},$$

где $C_{\text{рем}}$ – цена ремонта одного метра теплотрассы, руб/год·м.

$$Z_{\text{рем}} = 7000 \cdot 31000 = 217000000 \text{ руб / год.}$$

Затраты на обслуживание

$$Z_{\text{зп}} = 12 \cdot n \cdot Z_{\text{зп1}},$$

де n – количество человек обслуживающих теплотрассу, к ним относятся 4 слесаря тепловых сетей и 4 слесаря КИПиА. Принимаем $n = 8$;

$Z_{\text{зп1}}$ – средняя заработная плата одного человека, руб/мес. Средняя заработная плата персонала, обслуживающего теплотрассу по Томской области на 2017 год, составляет 29500 руб/мес.

$$Z_{\text{зп}} = 12 \cdot 8 \cdot 29500 = 2832000 \text{ руб/год.}$$

Значительной статьей эксплуатационных расходов в водяных тепловых сетях являются затраты на перекачку теплоносителя. Эта часть расходов включает в себя стоимость электроэнергии, расходуемой на привод сетевых насосов.

тепловых сетях являются затраты на перекачку теплоносителя. Эта часть расходов включает в себя стоимость электроэнергии, расходуемой на привод сетевых насосов.

Расход теплоносителя в течение года зависит от тепловой нагрузки района теплоснабжения (отопительный и неотопительный период), поэтому затраты на перекачку теплоносителя составляют сумму ежегодных издержек на перекачку теплоносителя в отопительный и неотопительный период

$$З_{\text{перек}} = З_{\text{перек}}^{\text{от}} + З_{\text{перек}}^{\text{неот}}$$

Затраты на перекачку теплоносителя в отопительный период

$$З_{\text{перек}}^{\text{от}} = \frac{G_d \cdot \Delta P \cdot h_{\text{от}}}{\rho \cdot \eta_{\text{н.у.}}} \cdot Ц_{\text{ЭН}} \cdot 10^{-3},$$

где G_d – расход сетевой воды в отопительный период, кг/с;

ΔP – потеря напора в трубопроводах, Па;

$h_{\text{от}}$ – число часов работы сетевых насосов в отопительный период, $h = 5664$ ч;

ρ – плотность воды, кг/м³;

$\eta_{\text{н.у.}}$ – КПД насосной установки, который определяется как произведение КПД насоса $\eta_{\text{н}}$ на КПД электродвигателя $\eta_{\text{эд}}$. Для средних условий: $\eta_{\text{н.у.}} = 0,6 - 0,7$.

$Ц_{\text{ЭН}}$ – тариф на электроэнергию, $Ц_{\text{ЭН}} = 3,25$ руб/кВт·ч [].

$$З_{\text{перек}}^{\text{от}} = \frac{412,1 \cdot 399981 \cdot 5664}{951 \cdot 0,65} \cdot 3,25 \times 10^{-3} = 4908567 \text{ руб/год.}$$

Затраты на перекачку теплоносителя в неотопительный период

$$З_{\text{перек}}^{\text{неот}} = \frac{G_{h\text{max}}^s \cdot \Delta P \cdot h_{\text{неот}}}{\rho \cdot \eta_{\text{н.у.}}} \cdot Ц_{\text{ЭН}} \cdot 10^{-3},$$

где $G_{h\text{max}}^s$ – расход сетевой воды в неотопительный период, кг/с;

$h_{\text{неот}}$ – число часов работы сетевых насосов в неотопительный период, $h = 2760$ ч.

$$З_{\text{перек}}^{\text{неот}} = \frac{286,1 \cdot 399981 \cdot 2760}{951 \cdot 0,65} \cdot 3,25 \cdot 10^{-3} = 1660565, \text{ руб/год}$$

Тогда затраты на перекачку теплоносителя составляют

$$З_{\text{перек}} = 4908567 + 1660565 = 6569132 \text{ руб/год}$$

Амортизационные отчисления

$$З_{\text{ам}} = P_{\text{ам}} \cdot K_{\text{вл}},$$

где $P_{\text{ам}}$ – норма амортизации, 1/год

$$P_{\text{ам}} = \frac{1}{n_{\text{ам}}},$$

где $n_{ам}$ – срок амортизации, год. Сеть тепловая магистральная относится к пятой амортизационной группе, $n_{ам} = 7 - 10$ лет.

$$P_{ам} = \frac{1}{10} = 0,1,$$

$$З_{ам} = 0,1 \cdot 1369827303 = 136982730 \text{ руб /год.}$$

Потери тепла в трубопроводах

$$З_{пот} = Q_{пот} \cdot Ц_{ТЭ},$$

где $Q_{пот}$ – тепловые потери в год, Гкал/год

$$Q_{пот} = (q_L^{под} + q_L^{обр}) \cdot l$$

где $q_L^{под}$, $q_L^{обр}$ – удельные тепловые потери в подающем и обратном трубопроводе соответственно, Вт/м

$$Q_{пот} = (115,3 + 68,4) \cdot 15500 = 2847350 \text{ Вт;}$$

$$Q_{пот} = 21447 \text{ Гкал / год;}$$

$Ц_{ТЭ}$ – тариф на тепловую энергию, $Ц_{ТЭ} = 1590,46 \text{ руб/Гкал [27].}$

$$З_{пот} = 21447 \cdot 1590,46 = 34110596 \text{ руб / год.}$$

Тогда эксплуатационные ежегодные издержки равны

$$И = 217000000 + 2832000 \cdot (1 + 0,3) \cdot (1 + 0,2) + 6569132 + 136982730 + 34110596 = 399080378 \text{ руб/год.}$$

Прочие затраты. К прочим затратам относятся затраты, платежи, налоги, сборы и другие обязательные отчисления, производимые в соответствии с установленным законодательством порядком.

Прочие затраты составляют 5 % от суммы предыдущих

$$З_{пр} = И \cdot 0,05 = 399080378 \cdot 0,05 = 19954019 \text{ руб/год}$$

Тогда эксплуатационные ежегодные издержки с учетом прочих затрат равны

$$И^* = И + З_{пр} = 399080378 + 19954019 = 419034397 \text{ руб/год}$$

Таблица 4.8 – Эксплуатационные ежегодные издержки

Наименование затрат	Цена, руб./год
Затраты на ремонт теплотрассы, $З_{рем}$	217000000
Затраты на обслуживание, $З_{зп}$	4417920

Затраты на перекачку теплоносителя через тепловую сеть, $Z_{\text{перек}}$	6569132
Амортизационные отчисления, $Z_{\text{ам}}$	136982730
Потери тепла в трубопроводах, $Z_{\text{пот}}$	34110596
Прочие затраты, $Z_{\text{пр}}$	19954019
Итого, I^*	419034397

4.6 Ресурсоэффективность

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 4.9 – Сравнительная оценка характеристик разрабатываемого проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,2	5
2. Надежность	0,2	5
3. Долговечность	0,15	4
4. Удобство в эксплуатации	0,15	4
5. Технологичность	0,15	4
6. Энергоэкономичность	0,15	3
Итого	1,00	4,25

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,25.$$

В результате выполнения данного раздела проведен анализ конкурентных

технических решений, с помощью которого выбран наиболее эффективный и недорогой материал тепловой изоляции для трубопроводов тепловых сетей, а именно пенополиуретан.

Построен календарный план–график проведения работ по проектированию тепловых сетей каждого из исполнителей проекта. Общее количество дней на выполнение проектных работ составляет 144 дня. Затраты на проектирование составили 298036,6 руб.

Бюджет затрат проекта равен 1798 млн. рублей.

Показатель ресурсоэффективности по пятибалльной шкале равен $I_{pi} = 4,25$, что говорит об эффективной реализации работ по проектированию тепловых сетей.

На основании полученных результатов данного раздела делаем вывод о том, что работа по проектированию тепловых сетей является экономически целесообразной и успешной.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Объектом исследования является моделирование системы.

При анализе динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов, работа выполняется на компьютере, состоящего из системного блока и монитора, работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером. В связи с этим в данном разделе будет разработан комплекс мероприятий, который позволит свести к минимуму или ликвидировать негативные влияния факторов, возникающие при моделировании грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов [1].

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. Используя ГОСТ 12.0.003-74 [2], можно выделить ряд факторов, приведенных в таблице 5.1. Так же приведены источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источник фактора	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Персональный компьютер	– нарушение параметров микроклимата – повышение шума – недостаточное освещение – электромагнитные излучения	опасность поражения электрическим током	1. СанПиН 2.2.4.548–96 [3] 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [4] 3. СанПиН 2.2.2/2.4.134003 [5] 4. СНиП 23-05-95 [6] 5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [7] 6. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [8]

5.1.2 Микроклимат

Микроклимат рабочих помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей.

Мероприятия по доведению микроклиматических показателей до нормативных значений включаются в комплексные планы предприятий по охране труда. Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения (таблицы 5.2–5.3) [13]. Выполняемая работа относится к категории легкая (1б).

Таблица 5.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21 - 23	20 – 24	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 5.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 - 75	0,1	0,2
Теплый	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,3

В данном случае температура воздуха и температура поверхностей составляют 21°С и 20°С при относительной влажности 50% в холодный период года; 24°С и 23°С при относительной влажности воздуха 55% в теплый период

года, что соответствует нормам СанПиН 2.2.4.548-96.

5.1.3 Шум

Шум – это совокупность различных звуков, возникающих в процессе производства и неблагоприятно воздействующих на организм [16].

Шум может привести к нарушениям слуха (в случае постоянного нахождения при шуме более 85 децибел(dB)), может являться фактором стресса и повысить систолическое кровяное давление.

Дополнительно, он может способствовать несчастным случаям, маскируя предупреждающие сигналы и мешая сконцентрироваться.

Для рассматриваемого помещения основными источниками шума являются персональные компьютеры, кондиционер и вытяжные вентиляторы на окнах.

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест служебных помещений, является ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [16].

Помещения, в которых для работы используются ПК не должны граничить с помещениями, в которых уровни шума превышают нормируемые значения.

В помещениях, оборудованных ПК, которые являются основным источником шума при выполнении данных видов работ, уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА.

5.1.4 Недостаточная освещенность

Важнейшим физическим фактором является освещенность производственного помещения в целом и рабочего места конкретно. С этой целью производят нормирование производственного освещения, поскольку такие показатели как: яркость дисплея экрана, частота обновления изображения, общая освещенность в рабочей зоне оказывают сильнейшее влияние на зрение работника.

Работа, выполняемая с использованием ПК, имеют следующие недостатки:

- отражение экрана;
- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. Для общего освещения помещений следует использовать лампы со световой отдачей не менее 55 лм/Вт. Для освещения помещений, оборудованных персональными компьютерами, следует применять систему общего освещения. Также допускается применение комбинированного освещения с целью дополнительного освещения бумажного носителя при исключении засветки от экрана монитора.

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, по ГОСТ Р 55710-2013, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно.

5.1.4.1 Расчет искусственного освещения

Задачей расчета является выполнение общего равномерного освещения помещения. Размеры помещения 15х8х4 м, высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 300$ лк.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_M * S * Z * K_э}{N * \eta}$$

Коэффициент отражения стен $R_c=50$ %, потолка $R_n=70$ %.

Коэффициент запаса $k = 1,8$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Приняв $h_c = 0,5$ м; получаем $h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7$ м;

$$L = 1,4 * 2,7 = 3,78 \text{ м}; L/3 = 1,26 \text{ м}$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 38 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 48$.

Находим индекс помещения:

$$i = 120 / [2,7 * (15 + 8)] = 1,93$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,61$.

$$\Phi = \frac{300 * 120 * 1,8 * 1,1}{48 * 0,61} = 2434,43 \text{ Лм.}$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов, выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq (\Phi_{ст} - \Phi_{расч}) / \Phi_{ст} 100\% \leq 20\%$$

$$-10\% \leq (2850 - 2434,43) / 2850 * 100\% \leq 20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки
 $P = 48 * 40 = 1920 \text{ Вт}$

5.1.5 Электромагнитные излучения

Вредные проявления факторов рассматриваемой рабочей зоны выражаются в электромагнитном и электрическом излучениях (ЭМИ и ЭСИ). Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя. Техногенные ЭМП приводят к следующему: появление головной боли, повышение температуры тела, ожоги, катаракты. Радиочастотное ЭМП

влияет на нервную и сердечно – сосудистую системы [1].

Источником ЭСП является экран ПК и трение поверхности клавиатуры и компьютерной мыши. ЭСП может способствовать нарушению гормональной и иммунной систем. Показатели ЭМИ и ЭСИ на рабочих местах с ПК представлены в таблице 5.4 [11]:

Таблица 5.4 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Параметры воздействия, частота излучения		Допустимые значения
Статическое поле		20 000 В/м
На расстоянии 50 см вокруг	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Переменное поле на расстоянии 50 см вокруг		0,25 А/м
Магнитная индукция не более	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не более		500 В

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может привести к дыхательной, нервной и сердечнососудистой систем, головным болям, утомляемости. Для обеспечения меньшего уровня электромагнитного излучения использован жидкокристаллический монитор. Необходимо чтобы компьютер был заземлен, а также необходимо по возможности сокращать время работы за компьютером.

5.1.6 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [9].

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока и электрической дуги проявляются в виде электротравм и профессиональных

заболеваний.

Помещение, где расположены персональные вычислительные машины, относится к помещениям без повышенной опасности [4], так как отсутствуют следующие факторы:

- сырость;
- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы;
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести [8]:

- при производстве монтажных работ необходимо использовать только исправный инструмент, аттестованный службой КИПиА;
- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены;
- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели должны быть запрещены;
- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал;
- необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока и клавиатуры, могут

приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя компьютера. Для снижения величин токов статического электричества используются нейтрализаторы, местное и общее увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой.

5.1.7 Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

5.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)

Для создания и поддержания в лаборатории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года должно использоваться водяное отопление, а в теплое время года применяться кондиционирование воздуха.

На рабочем месте должно применяться также искусственное освещение помимо естественного, которое осуществляется системой общего равномерного

освещения, а при работе с документами следует применять комбинированное освещение. Кроме того, рабочий стол следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал слева.

Работа за компьютером относится к V зрительному разряду (работа малой точности). Следовательно, требуемая освещенность помещения может быть обеспечена следующими типами ламп:

люминесцентная лампа белого свечения (ЛБ) или холодного белого свечения (ЛХБ);

металл галогенная лампа (МГЛ);

ртутная лампа высокого давления (ДРЛ);

На рабочем месте желательно применение комбинированной системы освещения: люминесцентные лампы типа ЛД. Люминесцентные лампы имеют ряд существенных преимуществ: излучаемый ими свет близок к дневному, естественному свету; обладают повышенной светоотдачей, имеют более длительный срок службы [10].

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014[12] эквивалентный уровень звука не должен превышать 65 дБА.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дБ;

рациональная планировка помещения.

установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;

экранирование рабочего места, путем постановки перегородок, диафрагм;

Дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

5.3 Экологическая безопасность

Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Исключением являются лишь случаи утилизации персонального компьютера и индукционного преобразователя как твердого отхода и как следствие загрязнение почвы или выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, углекислого газа, образование тепла в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, его можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка таких отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования (например, кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы) согласно [13], [14].

В соответствии с требованиями законодательства все образующиеся отходы в соответствии с их классами опасности передаются специализированным предприятиям для переработки, утилизации или захоронения.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве. Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) должны быть соблюдены в соответствии с [15].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятной чрезвычайной ситуацией, возникающей при проведении анализа динамических свойств системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами, является пожар.

При этом причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты [16].

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения. В целях предотвращения пожара предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курение в помещении лаборатории необходимо категорически запретить.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара углекислотными огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться

подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности помещение относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

В качестве средств пожаротушения применяются устанавливаемые в коридорах и на лестничных площадках пожарные краны. В качестве средства первичного средства пожаротушения следует использовать огнетушители, подходящие для тушения электроустановок, в частности, порошковые огнетушители. Углекислотные огнетушители также подходят для тушения электроустановок, однако, из-за опасности испарений огнетушащего вещества не подходят для использования в замкнутом помещении. План эвакуации предоставлен на рисунке 5.1:

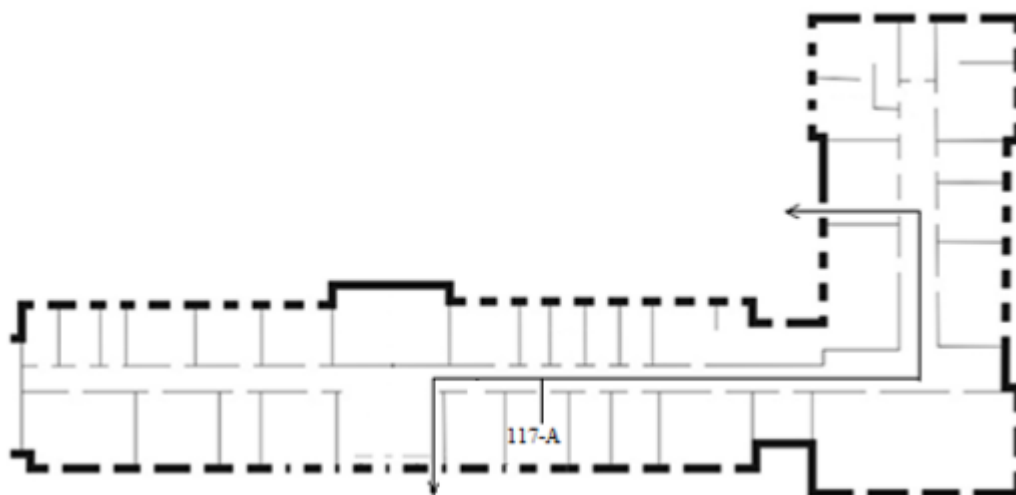


Рисунок 5.1 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2, 1-й этаж

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”.

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль.

Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарноэпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

Контроль за состоянием условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Контроль за состоянием условий труда заключается в проверке

состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер.

Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы. Различают следующие виды инструктажа: вводный, первичный на рабочем месте, повторный внеплановый и текущий.

Результаты всех видов инструктажа заносят в специальные журналы. За нарушение всех видов законодательства по безопасности жизнедеятельности предусматривается следующая ответственность: дисциплинарная, административная, уголовная, материальная.

Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Рабочее место — это часть пространства, в котором работник осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [17].

Кроме того, стоит сократить время работы за компьютером, делать

перерывы при 8-ми часовой смене.

Письменный стол и офисное кресло являются главными составляющими на рабочем месте. Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.

Кроме того, необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми “отвлекающими” мышечными нагрузками на те звенья опорно-двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы.

Рабочий стул должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах (400 - 500) мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах (90 – 110)°.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы был произведен анализ свойств отображения ребер интервальной системы с аффинным типом неопределенности на корневую плоскость. Определено, что для расчета робастных показателей качества системы следует рассматривать только ребра многопараметрического многогранника.

В работе разработан алгоритм, позволяющий значительно уменьшить количество вычислений для определения робастных показателей качества как ребра интервального многогранника, так и всей системы в целом.

Указанный алгоритм реализован в виде программного средства для определения робастной колебательности системы с аффинной неопределенностью третьей степени, с тремя интервальными параметрами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера://под ред. Проф. В.Ф. Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284с.
2. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
3. СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
4. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».
5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
9. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие/Амелькович Ю.А., Анищенко Ю.В., А. Н. Вторушина, М. В. Гуляев, М. Э. Гусельников, А. Г. Дашковский, Т. А. Задорожная, В. Н. Извеков, А. Г. Кагиров, К. М. Костырев, В. Ф. Панин, А. М. Плахов, С. В. Романенко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 236с.
10. СНиП 23 – 05 – 95* «Естественное и искусственное освещение» (с изменением N 1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно – технической документации.
11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы»

12. ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
13. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативнотехнической документации.
14. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативнотехнической документации.
15. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. - 3-е изд., перераб. И доп. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. - 178 с.
16. В.М.Нагорный, Г.М.Федоров. Организация работы комиссии по чрезвычайным ситуациям объекта / Под ред. В.В. Шевченко. - [Электронный ресурс].
17. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
18. Ротач В.Я. К расчету систем автоматического регулирования со вспомогательными информационными каналами методом многомерного сканирования // Теплоэнергетика. 2001. №11.
19. AC Bartlett. «Root Locations of an Entire Polytope of Polynomials: It Suffices to Check the Edges-1987» // ieeexplore.ieee.org/document/4789571.
20. Метод золотого сечения // Википедия.
21. Eclipse (среда разработки) // Википедия.
22. Язык программирования Java // <https://autogear.ru/article/105/72>

Приложение А

Листинг программы

Листинг кода класса Bkp1 ():

```
package cn.java.demo1;
import java.util.HashMap;
import java.util.Map;

public class Bkp1 {

    public Map<String,Double>Find(double a,double b, double c, double d) {
        double A, B, C, delta;
        double x1, x2, x3;
        Map<String, Double> map = new HashMap<String, Double>();

        A = b * b - 3 * a * c;
        B = b * c - 9 * a * d;
        C = c * c - 3 * b * d;
        delta = B * B - 4 * A * C;

        if (A == 0 && B == 0) {
            x1 = x2 = x3 = -c / b;
            map.put("x1", x1);
            map.put("x2", x2);
            map.put("x3", x3);
        }
        if (delta > 0) {
            double y1 = A * b + 3 * a * (-B + Math.pow(B * B - 4 * A * C, 0.5)) *
0.5;

            double y2 = A * b + 3 * a * (-B - Math.pow(B * B - 4 * A * C, 0.5)) *
0.5;

            x1 = (-b - (Math.pow(y1, 1 / 3.0) + Math.pow(y2, 1 / 3.0))) / (3 * a);
```

```

        double x23Re = (-b + (Math.pow(y1, 1 / 3.0) + Math.pow(y2, 1 / 3.0))
* 0.5) / (3 * a);

        double x2Im = ((Math.pow(y1, 1 / 3.0) - Math.pow(y2, 1 / 3.0)) *
(Math.pow(3, 0.5) * 0.5)) / (3 * a);

        double x3Im = -x2Im;
        map.put("x1", x1);
        map.put("x2Re", x23Re);
        map.put("x2Im", x2Im);
        map.put("x3Re", x23Re);
        map.put("x3Im", x3Im);
    } else if (delta == 0) {
        double K = B / A;
        x1 = -b / a + K;
        x2 = x3 = -K * 0.5;
        map.put("x1", x1);
        map.put("x2", x2);
        map.put("x3", x3);

    } else {
        double T = (2 * A * b - 3 * a * B) / (2 * Math.pow(A, 3 / 2.0));
        double temp = Math.acos(T);

        x1 = (-b - 2 * (2 * Math.pow(Math.cos(temp / 3.0), 0.5))) / (3 * a);
        x2 = (-b + Math.pow(A, 0.5) * Math.cos(temp / 3.0) + Math.pow(3, 0.5)
* Math.sin(temp / 3.0)) / (3 * a);
        x3 = (-b + Math.pow(A, 0.5) * Math.cos(temp / 3.0) - Math.pow(3, 0.5)
* Math.sin(temp / 3.0)) / (3 * a);
        map.put("x1", x1);
        map.put("x2", x2);
        map.put("x3", x3);
    }
    return map;
}
}

```

Листинг кода класса Test22():

```
package cn.java.demo1;

import java.awt.BorderLayout;
import java.awt.GridLayout;
import java.util.HashMap;
import java.util.Iterator;
import java.util.Map;
import java.util.Map.Entry;
import javax.swing.JButton;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JLabel;
import javax.swing.JPanel;
import javax.swing.JPasswordField;
import javax.swing.JScrollPane;
import javax.swing.JTextArea;
import javax.swing.JTextField;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;

public class Test22 extends JFrame implements ActionListener {

    JPanel jp1, jp2, jp3, jp4, jp5, jp6, jp7, jp8, jp9, jp10;
    JLabel jlb1, jlb2, jlb3, jlb4, jlb5, jlb6, jlb7, jlb8, jlb9, jlb10, jlb11, jlb12, jlb13, jlb14,
    jlb15, jlb16, jlb17, jlb18, jlb19, jlb20, jlb21, jlb22, jlb23, jlb24, jlb25, jlb26, jlb27, jlb28, jlb29;
    JButton jb1, jb2;
    JTextField jtf1, jtf2, jtf3, jtf4, jtf5, jtf6, jtf7, jtf8, jtf9, jtf10, jtf11, jtf12, jtf13, jtf14,
    jtf15, jtf16, jtf17, jtf18, jtf19, jtf20, jtf21, jtf22, jtf23;

    public double x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, x11, x12, x13, x14, x15, x16, x17,
    x18, x19, x20, x21, x22, Kmax;

    public void clear() {
        jtf1.setText("");
    }
}
```

```

        jtf2.setText("");
        jtf3.setText("");
        jtf4.setText("");
        jtf5.setText("");
        jtf6.setText("");
        jtf7.setText("");
        jtf8.setText("");
        jtf9.setText("");
        jtf10.setText("");
        jtf11.setText("");
        jtf12.setText("");
        jtf13.setText("");
        jtf14.setText("");
        jtf15.setText("");
        jtf16.setText("");
        jtf17.setText("");
        jtf18.setText("");
        jtf19.setText("");
        jtf20.setText("");
        jtf21.setText("");
        jtf22.setText("");
        jtf23.setText("");

    }

    public void initUI() {
        JFrame frame = new JFrame();
        jp1 = new JPanel();
        jp2 = new JPanel();
        jp3 = new JPanel();
        jp4 = new JPanel();
        jp5 = new JPanel();
        jp6 = new JPanel();
        jp7 = new JPanel();

```

```

jp8 = new JPanel();
jp9 = new JPanel();
jp10 = new JPanel();

jlb1 = new JLabel("уравнение:  $a*s^3+b*s^2+c*s+d=0$ ");
jlb2 = new JLabel("a= $x1*a2+y1*a1+z1*a0+m1$ ; b= $x2*a2+y2*a1+z2*a0+m2$ ;  
c= $x3*a2+y3*a1+z3*a0+m3$ ; d= $x4*a2+y4*a1+z4*a0+m4$ ");
jlb3 = new JLabel("a:");
jlb4 = new JLabel("b:");
jlb5 = new JLabel("c:");
jlb6 = new JLabel("d:");
jlb7 = new JLabel("a2");
jlb8 = new JLabel("a1");
jlb9 = new JLabel("a0");
jlb10 = new JLabel("Kmax");
jlb11 = new JLabel("x");
jlb12 = new JLabel("y");
jlb13 = new JLabel("z");
jlb14 = new JLabel("m");
jlb15 = new JLabel("x");
jlb16 = new JLabel("y");
jlb17 = new JLabel("z");
jlb18 = new JLabel("m");
jlb19 = new JLabel("x");
jlb20 = new JLabel("y");
jlb21 = new JLabel("z");
jlb22 = new JLabel("m");
jlb23 = new JLabel("x");
jlb24 = new JLabel("y");
jlb25 = new JLabel("z");
jlb26 = new JLabel("m");
jlb27 = new JLabel("--");
jlb28 = new JLabel("--");

```

```
jlb29 = new JLabel("--");
```

```
jb1 = new JButton("Рассчитать");
```

```
jb2 = new JButton("Reset");
```

```
jb1.addActionListener(this);
```

```
jb2.addActionListener(this);
```

```
jtf1 = new JTextField(5);
```

```
jtf2 = new JTextField(5);
```

```
jtf3 = new JTextField(5);
```

```
jtf4 = new JTextField(5);
```

```
jtf5 = new JTextField(5);
```

```
jtf6 = new JTextField(5);
```

```
jtf7 = new JTextField(5);
```

```
jtf8 = new JTextField(5);
```

```
jtf9 = new JTextField(5);
```

```
jtf10 = new JTextField(5);
```

```
jtf11 = new JTextField(5);
```

```
jtf12 = new JTextField(5);
```

```
jtf13 = new JTextField(5);
```

```
jtf14 = new JTextField(5);
```

```
jtf15 = new JTextField(5);
```

```
jtf16 = new JTextField(5);
```

```
jtf17 = new JTextField(5);
```

```
jtf18 = new JTextField(5);
```

```
jtf19 = new JTextField(5);
```

```
jtf20 = new JTextField(5);
```

```
jtf21 = new JTextField(5);
```

```
jtf22 = new JTextField(5);
```

```
jtf23 = new JTextField(20);
```

```
jtf23 = new JTextField(20);
```

```
this.setLayout(new GridLayout(11, 1));
```

```
jp1.add(jlb1);
```

jp2.add(jlb2);

jp3.add(jlb3);
jp3.add(jlb11);
jp3.add(jtf1);
jp3.add(jlb12);
jp3.add(jtf2);
jp3.add(jlb13);
jp3.add(jtf3);
jp3.add(jlb14);
jp3.add(jtf4);

jp4.add(jlb4);
jp4.add(jlb15);
jp4.add(jtf5);
jp4.add(jlb16);
jp4.add(jtf6);
jp4.add(jlb17);
jp4.add(jtf7);
jp4.add(jlb18);
jp4.add(jtf8);

jp5.add(jlb5);
jp5.add(jlb19);
jp5.add(jtf9);
jp5.add(jlb20);
jp5.add(jtf10);
jp5.add(jlb21);
jp5.add(jtf11);
jp5.add(jlb22);
jp5.add(jtf12);

jp6.add(jlb6);
jp6.add(jlb23);

```
jp6.add(jtf13);  
jp6.add(jlb24);  
jp6.add(jtf14);  
jp6.add(jlb25);  
jp6.add(jtf15);  
jp6.add(jlb26);  
jp6.add(jtf16);
```

```
jp7.add(jlb7);  
jp7.add(jtf17);  
jp7.add(jlb27);  
jp7.add(jtf18);
```

```
jp8.add(jlb8);  
jp8.add(jtf19);  
jp8.add(jlb28);  
jp8.add(jtf20);
```

```
jp9.add(jlb9);  
jp9.add(jtf21);  
jp9.add(jlb29);  
jp9.add(jtf22);
```

```
jp10.add(jlb10);  
jp10.add(jtf23);  
jp10.add(jb1);  
jp10.add(jb2);
```

```
jb2.addActionListener(new ActionListener() {  
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {  
        clear();  
    };  
});
```

```

jb1.addActionListener(new ActionListener() {
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {

        x1 = Double.valueOf(jtf1.getText());
        x2 = Double.valueOf(jtf2.getText());
        x3 = Double.valueOf(jtf3.getText());
        x4 = Double.valueOf(jtf4.getText());
        x5 = Double.valueOf(jtf5.getText());
        x6 = Double.valueOf(jtf6.getText());
        x7 = Double.valueOf(jtf7.getText());
        x8 = Double.valueOf(jtf8.getText());
        x9 = Double.valueOf(jtf9.getText());
        x10 = Double.valueOf(jtf10.getText());
        x11 = Double.valueOf(jtf11.getText());
        x12 = Double.valueOf(jtf12.getText());
        x13 = Double.valueOf(jtf13.getText());
        x14 = Double.valueOf(jtf14.getText());
        x15 = Double.valueOf(jtf15.getText());
        x16 = Double.valueOf(jtf16.getText());
        x17 = Double.valueOf(jtf17.getText());
        x18 = Double.valueOf(jtf18.getText());
        x19 = Double.valueOf(jtf19.getText());
        x20 = Double.valueOf(jtf20.getText());
        x21 = Double.valueOf(jtf21.getText());
        x22 = Double.valueOf(jtf22.getText());

        double[] H = {a0Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
                                x11, x12, x13, x14, x15, x16, x17, x19, x21, x22),
                        a0Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
                                x11, x12, x13, x14, x15, x16, x17, x20, x21, x22),
                        a0Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
                                x11, x12, x13, x14, x15, x16, x18, x20, x21, x22),
                        a0Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
                                x11, x12, x13, x14, x15, x16, x18, x19, x21, x22),

```

```

a1Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x17, x21, x19, x20),
a1Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x17, x22, x19, x20),
a1Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x18, x21, x19, x20),
a1Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x18, x22, x19, x20),

a2Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x19, x21, x17, x18),
a2Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x19, x22, x17, x18),
a2Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x20, x21, x17, x18),
a2Change(x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10,
x11, x12, x13, x14, x15, x16, x20, x22, x17, x18) };

```

```

double Kmax = H[0];
for (int i = 0; i < H.length; i++) {
    System.out.println("k" + (i + 1) + "=" + H[i]);
    if (H[i] > Kmax) {
        Kmax = H[i];
    }
}
System.out.println("Kmax=" + Kmax);
jtf23.setText(Kmax + "");
}

```

```
});
```

```

this.add(jp1);
this.add(jp2);
this.add(jp3);
this.add(jp4);

```

```

        this.add(jp5);
        this.add(jp6);
        this.add(jp7);
        this.add(jp8);
        this.add(jp9);
        this.add(jp10);
        this.setTitle(" а н а л и з  С А У  с  а  ф  ф  и  н  н  о  й  н  е  о  п  р  е  д
е л е н  н  о  с  т  ь  ю  п а р а м е т р о в");
        this.setSize(650, 650);
        this.setLocationRelativeTo(null);
        this.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        this.setVisible(true);
        this.setResizable(false);
    }

    public static void main(String[] args) {
        Test22 test22 = new Test22();
        test22.initUI();
    }

    public static double a0Change(double x1, double x2, double x3, double x4, double x5,
double x6, double x7,
        double x8, double x9, double x10, double x11, double x12, double x13,
double x14, double x15, double x16,
        double a2, double a1, double a0Min, double a0Max) {
        Bkp1 bkp1 = new Bkp1();
        Map<String, Double> ma1 = new HashMap<String, Double>();
        Map<String, Double> ma2 = new HashMap<String, Double>();
        Map<String, Double> ma3 = new HashMap<String, Double>();
        Map<String, Double> ma4 = new HashMap<String, Double>();
        Map<String, Double> map1 = new HashMap<String, Double>();
        Map<String, Double> map2 = new HashMap<String, Double>();

        double interval = a0Max - a0Min;
        double n = 0;

```

```

double m = 0;
double Kma1, Kma2, Kma3, Kma4, k1 = 0, k2 = 0;

ma1 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1, a0Min), b(x5, x6, x7, x8, a2, a1,
a0Min), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1, a0Min), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1, a0Min));
Kma1 = findK(ma1);
ma2 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1, a0Min + 0.01), b(x5, x6, x7, x8, a2,
a1, a0Min + 0.01), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1, a0Min + 0.01), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1, a0Min +
0.01));
Kma2 = findK(ma2);
ma3 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1, a0Max), b(x5, x6, x7, x8, a2, a1,
a0Max), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1, a0Max), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1, a0Max));
Kma3 = findK(ma3);
ma4 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1, a0Max - 0.01), b(x5, x6, x7, x8, a2,
a1, a0Max - 0.01), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1, a0Max - 0.01), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1, a0Max -
0.01));
Kma4 = findK(ma4);
double maxK = Math.max(Kma1, Kma3);

if (maxK > Kma2 && maxK > Kma4) {
    return maxK;
} else {
    while (interval >= 0.001) {

        n = a0Min + interval * 0.382;
        map1 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1, n), b(x5, x6, x7, x8,
a2, a1, n), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1, n), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1, n));
        k1 = findK(map1);

        m = a0Min + interval * 0.618;
        map2 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1, m), b(x5, x6, x7, x8,
a2, a1, m), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1, m), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1, m));
        k2 = findK(map2);

        if (k1 > k2) {

```

```

        a0Max = m;
    } else {
        a0Min = n;
    }
    interval = a0Max - a0Min;
}
return Math.max(k1, k2);
}
}

```

```

public static double a1Change(double x1, double x2, double x3, double x4, double x5,
double x6, double x7, double x8, double x9, double x10, double x11, double x12, double x13, double
x14, double x15, double x16, double a2, double a0, double a1Min, double a1Max) {

```

```

    Bkp1 bkp1 = new Bkp1();
    Map<String, Double> ma1 = new HashMap<String, Double>();
    Map<String, Double> ma2 = new HashMap<String, Double>();
    Map<String, Double> ma3 = new HashMap<String, Double>();
    Map<String, Double> ma4 = new HashMap<String, Double>();
    Map<String, Double> map1 = new HashMap<String, Double>();
    Map<String, Double> map2 = new HashMap<String, Double>();

```

```

    double interval = a1Max - a1Min;
    double n = 0;
    double m = 0;
    double Kma1, Kma2, Kma3, Kma4, k1 = 0, k2 = 0;

```

```

    ma1 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1Min, a0), b(x5, x6, x7, x8, a2, a1Min,
a0), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1Min, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1Min, a0));

```

```

    Kma1 = findK(ma1);

```

```

    ma2 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1Min + 0.01, a0), b(x5, x6, x7, x8, a2,
a1Min + 0.01, a0), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1Min + 0.01, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1Min +
0.01, a0));

```

```

    Kma2 = findK(ma2);

```

```

    ma3 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1Max, a0), b(x5, x6, x7, x8, a2, a1Max,
a0), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1Max, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1Max, a0));

```

```

        Kma3 = findK(ma3);
        ma4 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, a1Max - 0.01, a0), b(x5, x6, x7, x8, a2,
a1Max - 0.01, a0), c(x9, x10, x11, x12, a2, a1Max - 0.01, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2, a1Max - 0.01,
a0));

        Kma4 = findK(ma4);
        double maxK = Math.max(Kma1, Kma3);

        if (maxK > Kma2 && maxK > Kma4) {
            return maxK;
        } else {
            while (interval >= 0.001) {
                n = a1Min + interval * 0.382;
                map1 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, n, a0), b(x5, x6, x7, x8,
a2, n, a0), c(x9, x10, x11, x12, a2, n, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2, n, a0));
                k1 = findK(map1);

                m = a1Min + interval * 0.618;
                map2 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2, m, a0), b(x5, x6, x7, x8,
a2, m, a0), c(x9, x10, x11, x12, a2, m, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2, m, a0));
                k2 = findK(map2);

                if (k1 > k2) {
                    a1Max = m;
                } else {
                    a1Min = n;
                }
                interval = a1Max - a1Min;
            }
            return Math.max(k1, k2);
        }
    }

    public static double a2Change(double x1, double x2, double x3, double x4, double x5,
double x6, double x7, double x8, double x9, double x10, double x11, double x12, double x13, double
x14, double x15, double x16, double a1, double a0, double a2Min, double a2Max) {

```

```

Bkp1 bkp1 = new Bkp1();
Map<String, Double> ma1 = new HashMap<String, Double>();
Map<String, Double> ma2 = new HashMap<String, Double>();
Map<String, Double> ma3 = new HashMap<String, Double>();
Map<String, Double> ma4 = new HashMap<String, Double>();
Map<String, Double> map1 = new HashMap<String, Double>();
Map<String, Double> map2 = new HashMap<String, Double>();

double interval = a2Max - a2Min;
double n = 0;
double m = 0;
double Kma1, Kma2, Kma3, Kma4, k1 = 0, k2 = 0;

ma1 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2Min, a1, a0), b(x5, x6, x7, x8, a2Min, a1,
a0), c(x9, x10, x11, x12, a2Min, a1, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2Min, a1, a0));
Kma1 = findK(ma1);
ma2 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2Min + 0.01, a1, a0), b(x5, x6, x7, x8,
a2Min + 0.01, a1, a0), c(x9, x10, x11, x12, a2Min + 0.01, a1, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2Min +
0.01, a1, a0));
Kma2 = findK(ma2);
ma3 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2Max, a1, a0), b(x5, x6, x7, x8, a2Max, a1,
a0), c(x9, x10, x11, x12, a2Max, a1, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2Max, a1, a0));
Kma3 = findK(ma3);
ma4 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, a2Max - 0.01, a1, a0), b(x5, x6, x7, x8,
a2Max - 0.01, a1, a0), c(x9, x10, x11, x12, a2Max - 0.01, a1, a0), d(x13, x14, x15, x16, a2Max - 0.01,
a1, a0));
Kma4 = findK(ma4);
double maxK = Math.max(Kma1, Kma3);

if (maxK > Kma2 && maxK > Kma4) {
    return maxK;
} else {
    while (interval >= 0.001) {
        n = a2Min + interval * 0.382;

```

```

        map1 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, n, a1, a0), b(x5, x6, x7, x8,
n, a1, a0), c(x9, x10, x11, x12, n, a1, a0), d(x13, x14, x15, x16, n, a1, a0));
        k1 = findK(map1);

        m = a2Min + interval * 0.618;
        map2 = bkp1.Find(a(x1, x2, x3, x4, m, a1, a0), b(x5, x6, x7, x8,
m, a1, a0), c(x9, x10, x11, x12, m, a1, a0), d(x13, x14, x15, x16, m, a1, a0));
        k2 = findK(map2);

        if (k1 > k2) {
            a2Max = m;
        } else {
            a2Min = n;
        }
        interval = a2Max - a2Min;
    }
    return Math.max(k1, k2);
}

}

public static double d(double x1, double x2, double x3, double x4, double a2, double
a1, double a0) {
    return x1 * a2 + x2 * a1 + x3 * a0 + x4;
}

public static double c(double x1, double x2, double x3, double x4, double a2, double
a1, double a0) {
    return x1 * a2 + x2 * a1 + x3 * a0 + x4;
}

public static double b(double x1, double x2, double x3, double x4, double a2, double
a1, double a0) {
    return x1 * a2 + x2 * a1 + x3 * a0 + x4;
}

```

```

        public static double a(double x1, double x2, double x3, double x4, double a2, double
a1, double a0) {
            return x1 * a2 + x2 * a1 + x3 * a0 + x4;
        }

        public static double findK(Map<String, Double> ma) {
            return -ma.get("x2Im") / ma.get("x2Re");
        }

        public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        }

    }

```

Приложение Б

Раздел 1. Анализ поведения ребер интервального характеристического полинома для систем с аффинной неопределенностью

Section 1. Analysis of the behavior of edges of an interval characteristic polynomial for systems with affine uncertainty

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Чжао Юньсян		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Суходоев М.С.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сидоренко Т. В.	к.п.н.		

1. Analysis of the behavior of edges of an interval characteristic polynomial for systems with affine uncertainty

1.1. Basic concepts of robust control theory

Robust control theory is a branch of science that considers the problems of analysis and synthesis of automatic control systems (ACS) with uncertain, interval parameters in order to ensure the stable operation of the system with specified quality indicators in any possible mode of its operation. The structure of these models enables to model complex nonlinear behavior using flexible nonlinear functions, such as wavelet and sigmoid networks.

The interval parameter here is considered to be any parameter of the system, which varies within predetermined limits, that is, in a certain interval.

The interval is the range of values of a parameter of the system, bounded on both sides. The written interval is usually denoted by the letter of the Latin alphabet, enclosed in square brackets; the upper and lower limits of the interval are denoted by the same letter with a bar above or below it, respectively:

$$[x] = [\underline{x}, \bar{x}].$$

1.2. Interval characteristic ACS polynomials

At its core, ACS with interval parameters is an infinite family of ACS with constant parameters. Thus, the same means of description are applicable to robust systems: state space, matrix description, transfer functions and characteristic polynomials. It is obvious that the coefficients of the transfer function of the robust system, and hence the coefficients of its characteristic polynomial, depend on the interval parameters.

Interval characteristic polynomial (ICP) - the denominator of the transfer function of a closed robust ACS; characteristic polynomial, whose coefficients depend in some way on the interval parameters of the system.

Depending on how exactly the ICP coefficients depend on interval parameters, there are several types of uncertainties: interval, affine, or polynomial.

The simplest type of uncertainty is interval uncertainty. For example, the interval polynomial is defined as follows:

$$P(s) = \left\{ P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] * s : \underline{a_i} \leq a_i \leq \bar{a_i}, \underline{a_i} > 0 \right\}.$$

Here the interval parameters are the coefficients of the polynomial themselves. This is quite rare, since usually the coefficients of polynomials are abstract and have no physical meaning.

Affine uncertainty is one way to take into account the effect of several interval parameters on each of the polynomial coefficients. The affine family of polynomials is defined as follows:

$$P(s) = \{P(s, q) = P_0 + q_1 * P_1(s) + \dots + q_l * P_l(s), q \in Q\}.$$

Here there are l interval parameters q ; each of the interval parameters enters the polynomial in the first degree; thus, the coefficients of the polynomial for s is a linear combination of interval parameters.

Multilinear or multilinear uncertainty suggests that ICP coefficients are first-degree polynomials with respect to one of the interval parameters when the other interval parameters are replaced by constants. It differs from affine uncertainty in that it also permits the dependence of ICP coefficients on the products of interval parameters.

The most complex for analysis, the polynomial type of uncertainty implies a nonlinear dependence of the polynomial coefficients on interval parameters.

Based on the definition of the main types of uncertainties, we can conclude that any uncertainty - affine, polynomial or more complex - can be reduced to interval uncertainty using interval arithmetic rules.

Interval arithmetic is the simplest section of interval analysis. Interval analysis is a development of the theory of sets and, besides the basic arithmetic operations, it allows one to perform operations on interval matrices; calculate the value of transcendental functions from intervals and so on.

For mastering the basic principles of robust control, interval arithmetic will suffice - let's focus on it in more detail.

The addition of the intervals $[x]$ and $[y]$ is performed by the following rule:

$$[x] + [y] = [\underline{x} + \underline{y}; \bar{x} + \bar{y}].$$

That is, the lower bound of the sum of two intervals is equal to the sum of the lower boundaries of the terms; the upper limit of the sum of two intervals is equal to the sum of the upper limits of the terms.

Subtraction of the intervals $[x]$ and $[y]$ is performed according to the following rule:

$$[x] - [y] = [\underline{x} - \bar{y}; \bar{x} - \underline{y}].$$

That is, the lower limit of the difference between the two intervals is equal to the difference between the lower limit of the decreasing and the upper limit of the deductible; the upper limit of the difference between two intervals is equal to the difference between the upper limit of the minimum and the lower limit of the subtracted.

Multiplication of the intervals $[x]$ and $[y]$ is performed by the following rule:

$$[x] * [y] = [\min\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}\}, \max\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}\}]$$

That is, the lower limit of the product of two intervals is equal to the minimum of the products of the boundaries of the factors; the upper boundary of the product of two intervals is equal to the maximum of the products of the boundaries of the factors.

The division of the intervals $[x]$ and $[y]$ is performed as a multiplication of the dividend and the interval opposite to the divisor. The calculation of the inverse interval, in turn, is performed according to the following rule:

$$\frac{1}{[y]} = \begin{cases} \emptyset, [y] = [0,0] \\ \left[\frac{1}{\bar{y}}, \frac{1}{\underline{y}}\right], 0 \notin [y] \\ \left[\frac{1}{\bar{y}}, \infty\right], \underline{y} = 0, \bar{y} > 0 \\ \left[-\infty, \frac{1}{\underline{y}}\right], \bar{y} = 0, \underline{y} < 0 \\ [-\infty, \infty], \underline{y} < 0, \bar{y} > 0 \end{cases}$$

1.3. Mapping of parametric polyhedron of ACS with interval parameters to the root plane

Let the mode of operation of some ACS is determined by the values of m interval parameters. In this case, we can say that the system exists in the m -dimensional space of its parameters, and the totality of all possible modes of operation of the system is limited to a certain figure in this space - a parametric polyhedron. Hereinafter, the system operation mode will be called the set of values of its interval parameters - a point in space bounded by a parametric polyhedron

For clarity, consider a simple example: ACS of the second order with a transfer function of the form:

$$W(S) = \frac{1}{[a_2]*s^2 + [a_1]*s + [a_0]}.$$

The mode of operation of this system is determined by the values of three interval parameters: $[a_2], [a_1], [a_0]$. We can say that the set of possible modes of operation of the system is limited to a cube in the three-dimensional space of the listed parameters.

Obviously, within this and any other parametric polyhedron, vertices and edges can be distinguished.

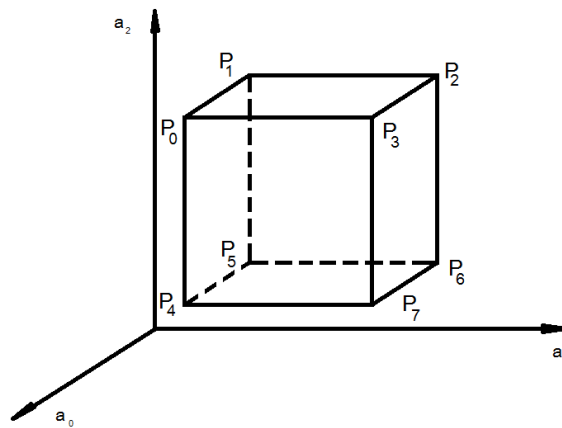


Figure 1,1 - Parametric polyhedron of the second order system

The number of vertices of a parametric polyhedron depends on the number of interval parameters as follows:

$$N = 2^m,$$

where N is the number of vertices of the parametric polyhedron; m is the number of interval parameters.

The coordinates of each vertex of a parametric polyhedron are a collection of extreme interval values. For example, the vertex P_0 has the coordinates $[\overline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$ in the system parameter space; vertex P_1 is the coordinates $[\underline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$. Obviously, the edge P_1P_0 corresponds to a change in the parameter a_0 from its lower boundary $\underline{a_0}$ to the upper boundary $\overline{a_0}$. It should be noted that the number of edges of a parametric polyhedron of a system with interval uncertainty is determined by the expression:

$$M = m * 2^{m-1},$$

where M is the number of edges of the parametric polyhedron, m is the number of interval parameters. Indeed, if there are two interval parameters in the system, then the parametric polyhedron of the system will degenerate into a square with $M = 2 * 2^{2-1} = 4$ edges; with three interval parameters - a cube with $M = 3 * 2^{3-1} = 12$ edges.

Each point inside the described parametric polyhedron defines with its coordinates a set of values of the interval coefficients of the characteristic equation of the system. Noting the roots of the characteristic equation in a sufficient number of possible modes, we obtain an approximate portrait of the location of the areas of their localization.

1.4. Ribbed theorem

With affine uncertainty of parameters, the robust stability of the system is guaranteed by the stability of the system on the edges of the parametric polyhedron.

This method of analyzing ACS with affine uncertainty of parameters is proposed by the theorem formulated in 1987 by the staff of the University of Massachusetts in the work of the Polytope of Polynomials: It Suffices to Check the Edges. This theorem says that to determine the boundaries of the localization areas of the roots of an interval characteristic polynomial, it is sufficient to calculate the roots of the polynomials that describe the edges of a parametric polyhedron.

Geometrically, this theorem is expressed in the fact that the trajectories of the roots of edge polynomials limit the regions of localization of the roots of all other polynomials from the interval family. In other words, in any mode of operation of the system, the roots of the characteristic polynomial of the system will not be outside the trajectories defined by the roots of the edge polynomials.

Consider the practical application of this theorem on the example of a system whose parametric polyhedron is shown in Figure 1.

Let the task be set: to check the stability of a system with affine uncertainty of parameters using the edge theorem. Let the parametric polyhedron of the system is depicted in Figure 1. The values of the interval parameters of the system are given as follows:

$$a_0 = [25; 50]; a_1 = [10; 20]; a_2 = [2; 5].$$

The transfer function of the system is:

$$W(s) = \frac{a_1 * s + a_0}{a_2 * s^2 + (a_1 + 2 * a_2) * s + a_1 + a_0}.$$

In this case, the coefficients of the characteristic polynomial are not equal to the interval parameters of the system, but depend linearly on them, which corresponds to the affine type of uncertainty.

First of all, we make polynomials describing the edges of a parametric polyhedron. To do this, consider the values of the coefficients of the interval characteristic polynomial on each of the edges. For example, the edge P_0P_1 corresponds to a change in the coefficient a_0 within a given interval; the minimum value of the coefficient a_1 ; the maximum value of the coefficient a_2 . Next, we give a complete list of all twelve edge polynomials for the system under study.

Table 1. Edge polynomials of the system under study

Ребро	Реберный полином
P_0P_1	$D_1(S) = \overline{a_2} * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * \overline{a_2}) * S + \underline{a_1} + [a_0]$
P_1P_2	$D_2(S) = \overline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \overline{a_2}) * S + [a_1] + \underline{a_0}$
P_2P_3	$D_3(S) = \overline{a_2} * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * \overline{a_2}) * S + \overline{a_1} + [a_0]$
P_3P_0	$D_4(S) = \overline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \overline{a_2}) * S + [a_1] + \overline{a_0}$
P_4P_5	$D_5(S) = \underline{a_2} * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * \underline{a_2}) * S + \underline{a_1} + [a_0]$

P_5P_6	$D_6(S) = \underline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \underline{a_2}) * S + [a_1] + \underline{a_0}$
P_6P_7	$D_7(S) = \underline{a_2} * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * \underline{a_2}) * S + \overline{a_1} + [a_0]$
P_7P_4	$D_8(S) = \underline{a_2} * S^2 + ([a_1] + 2 * \underline{a_2}) * S + [a_1] + \overline{a_0}$
P_0P_4	$D_9(S) = [a_2] * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \underline{a_1} + \overline{a_0}$
P_1P_5	$D_{10}(S) = [a_2] * S^2 + (\underline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \underline{a_1} + \underline{a_0}$
P_2P_6	$D_{11}(S) = [a_2] * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \overline{a_1} + \underline{a_0}$
P_3P_7	$D_{12}(S) = [a_2] * S^2 + (\overline{a_1} + 2 * [a_2]) * S + \overline{a_1} + \overline{a_0}$

Then, it should be remembered that the interval polynomial is inherently a family of polynomials with constant parameters, and find the roots of the characteristic polynomial for several values of the interval coefficient. Placing all the roots of edge polynomials on the complex plane for all values of the interval coefficients, we can obtain the boundaries of the localization regions of the roots of the characteristic equation of the system — Figure 2. Figure 2 shows the multiparameter interval root locus (MIRL) of the system under study.

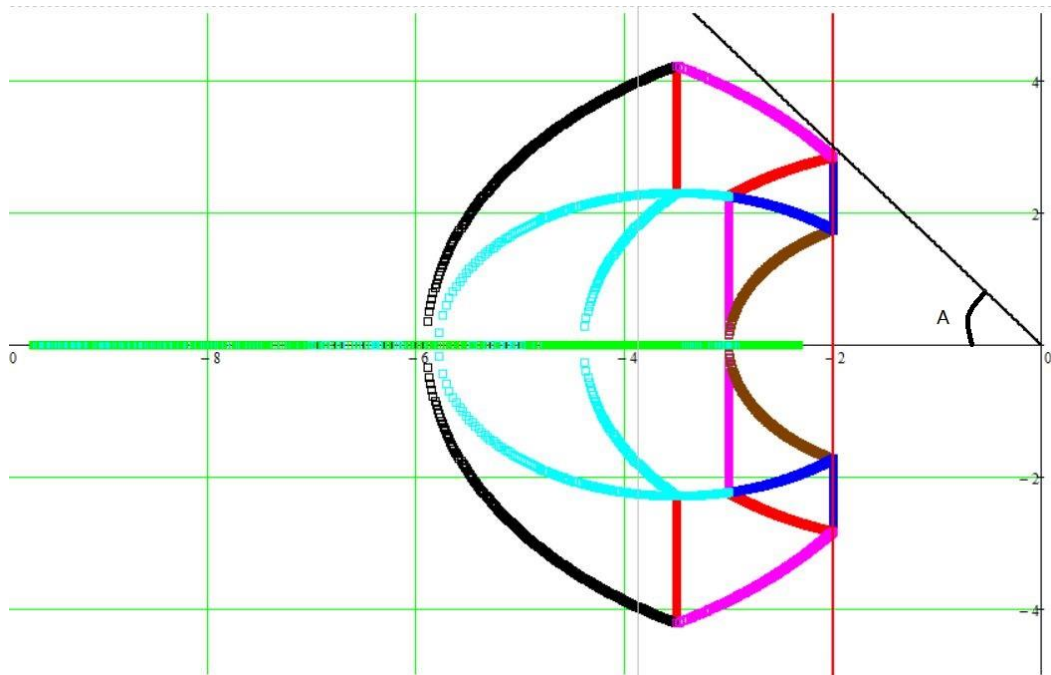


Figure 1,2 - MIRL of the system in question

Obviously, if a part of the hodograph lies to the right of the imaginary axis of the complex plane, then for given limits of interval parameters in the system there are such modes in which the system is not stable; in other words, the system does not have robust stability.

Thus, the system, the MIRL of which is presented in Figure 2, is stable in any possible mode of operation - robustly stable.

The degree of robust stability of a system whose MIRL is depicted in Figure 2 is equal to two; the degree of robust oscillation $\mu = 1.45$ (as the tangent of the angle A).

Conclusion

As a result of the analysis, the behavior of the roots of the interval characteristic polynomial with affine uncertainty was analyzed. It is noted that the boundary values, according to the edge theorem, are the edges of the interval characteristic polynomial mapped to the complex plane.

An improved algorithm for determining the index of the degree of oscillation for each edge, which allows you to find the desired value of the quality indicator with a smaller number of calculations, with the required accuracy.

Based on the analysis of the degree of oscillation for all edges of the interval characteristic polynomial, the value of the robust indicator of the degree of oscillation is calculated for the entire interval characteristic polynomial.

Also, as a result of the work, software was developed that allows the user to calculate the robust degree of oscillation for the introduced system with an affine uncertainty of the maximum third order.