

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки 27.04.04 Управление в технических системах
Кафедра Автоматики и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Методы корневого анализа систем с интервальными параметрами

УДК 681.51.012:51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Данжаев Солбон Тумэнович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Фадеев А.С.	К.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.04

«Управление в технических системах»

	Результаты
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»**

Институт кибернетики
 Направление подготовки стандартизация и метрология
 Кафедра компьютерных измерительных систем и метрологии

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Данжаеву Солбону Тумэнович

Тема работы:

Методы корневого анализа систем с интервальными параметрами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 701/с от 04.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Системы с интервальными параметрами; 2. Методы корневого анализа; 3. Робастные показатели качества.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Аналитический обзор; 2. Анализ систем с интервальными параметрами; 3. Оптимизация метода поиска робастных показателей качества; 4. Разработка программного алгоритма; 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В. Ю. Конотопский
Социальная ответственность	Ю. В. Анищенко
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Отображения параметрического многогранника	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Данжаев Солбон Тумэнович		

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

Институт кибернетики

Направление подготовки стандартизация и метрология

Уровень образования магистратура

Кафедра компьютерных измерительных систем и метрологии

Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.10.2015	<i>Проведение аналитического обзора</i>	
18.02.2016	<i>Исследование систем с интервальными параметрами</i>	
9.03.2016	<i>Исследование методов корневого анализа</i>	
4.04.2016	<i>Разработка алгоритма оптимизации метода корневого анализа</i>	
6.05.2016	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	
16.05.2016	<i>Социальная ответственность</i>	
24.05.2016	<i>Оформление расчётно – пояснительной записки</i>	

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	А. С. Фадеев	к.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Данжаев Солбон Тумэнович

Институт	Кафедра	Управление в технических системах
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менедж., ИСГТ	В. Ю. Конотопский	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Данжаев Солбон Тумэнович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Данжаеву Солбону Тумэновичу

Институт	Кибернетики	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Корневой анализ систем с интервальными параметрами. Работа посвящена оптимизации алгоритмов анализа робастной устойчивости интервальных систем. Также рассматривается влияние взаимного расположения нулей и полюсов передаточной функции на прямые показатели качества переходного процесса.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты). 	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение параметров микроклимата; – недостаточная освещённость рабочего места; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенная напряженность магнитного поля. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электрический ток.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	<p>Воздействие на литосферу в случае утилизации персонального компьютера, как отход электронной промышленности.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<ul style="list-style-type: none"> – Пожар.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны; – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. 	<ul style="list-style-type: none"> – Эргономические требования к рабочему месту; – Правовые нормы трудового законодательства.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ю.В. Анищенко	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Данжаев Солбон Тумэнович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 89 с., 21 рисунка, 20 таблиц, 16 источников.

Ключевые слова: СИСТЕМА С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ, РОБАСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ, МЕТОДЫ АНАЛИЗА,

Целью работы является анализ систем с интервальными параметрами, а также изучение применяемых методов для анализа.

Результатом выполнения работы является оптимизация метода определения робастных показателей качества, который существенно сокращает время, затрачиваемое на оценку корневых показателей качества.

Значимость данной работы состоит в том, что при помощи данного метода можно ускорить процесс анализа системы с интервальными параметрами неопределённости типа: интервальная и аффинная.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 с применением программных пакетов MathCAD и MATLAB.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями и сокращениями:

Автоматизация: автоматическое управление объектом или процессом.

ИС – интервальная система;

ИХП – интервальный характеристический полином;

ОУ – Объект управления: устройство, установка или процесс, подлежащие управлению;

ПМ – параметрический многогранник.

Оптимизация: подбор параметров системы, обеспечивающих её наилучшее функционирование согласно принятому критерию качества

Замкнутая система управления: система с обратной связью, в которой происходит измерение выходной переменной и сравнение с ее желаемым значением.

Отрицательная обратная связь: канал, по которому выходной сигнал возвращается на вход системы и вычитается из входного сигнала.

Разомкнутая система управления: система, в которой отсутствует обратная связь, т. е. выходная переменная объекта управления никак не влияет на вход этого объекта.

Передаточная функция: отношение преобразования Лапласа выходной переменной к преобразованию Лапласа входной переменной при нулевых начальных условиях.

Структурная схема: конфигурация системы управления, образованная совокупностью блоков однонаправленного действия, каждому из которых соответствует определенная передаточная функция.

Характеристическое уравнение: уравнение, получающееся приравниванием нулю знаменателя передаточной функции.

Устойчивая система: динамическая система, обладающая ограниченной реакцией на ограниченный входной сигнал.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1 ОТОБРАЖЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МНОГОГРАННИКА	18
1.1. Основные понятия и обозначения отображения параметрического многогранника.....	18
1.2. Параметрический многогранник. Свойства отображения при интервальной неопределённости.....	21
1.3. Параметрический многогранник. Свойства отображения при аффинной неопределённости.....	26
2 АНАЛИЗ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	28
2.1. Корневые показатели качества.....	28
2.2. Интервальная неопределённость. Определение граничных вершин ..	29
2.3. Интервальная неопределённость. Вершинный анализ робастного качества	31
2.4. Аффинная неопределённость. Определение граничных вершин.....	32
2.5. Аффинная неопределённость. Рёберный анализ робастного качества	34
3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИЗА ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМ	37
3.1. MathCAD описание программного пакета.....	37
3.2. Теоритическое описание алгоритма рёберного анализа для определения робастных показателей качества	38
3.3. Программная реализация алгоритма рёберного анализа для определения робастных показателей качества	39
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖЕМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	44
4.1. Организация и планирование работ	44
4.2. Продолжительность этапов работ.....	45
4.2.1. Расчет накопления готовности работ	50
4.3. Расчет сметы затрат на создание макета КУ	53
4.3.1. Расчет затрат на материалы.....	53
4.3.2. Расчет основной заработной платы	54
4.3.3. Расчет отчислений от заработной платы	55

4.3.4.	Расчет затрат на электроэнергию	55
4.3.5.	Расчет амортизационных расходов	56
4.3.6.	Расчет прочих расходов.....	57
4.3.7.	Расчет общей себестоимости разработки	57
4.3.8.	Прибыль	58
4.3.9.	НДС.....	58
4.3.10.	Цена разработки НИР	58
4.4.	Оценка экономической эффективности проекта.....	59
4.4.1.	Оценка научно-технического уровня НИР.....	59
5	СОЦИАЛЬНЫЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	63
5.1.	Производственная безопасность	63
5.1.1.	Отклонения параметров микроклимата	64
5.1.2.	Недостаточная освещенность рабочего места	65
5.1.3.	Повышенный уровень шума	67
5.1.4.	Повышенный уровень напряжённости магнитного поля	67
5.2.	Электрический ток.....	68
5.3.	Экологическая безопасность	70
5.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
5.5.	Организационные вопросы обеспечения безопасности	73
5.6.	Правовые вопросы обеспечения безопасности	74
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	76
	Приложение А	81

ВВЕДЕНИЕ

Важным местом в теории управления является проблема робастной устойчивости. Многие САУ содержат интервально-неопределенные параметры. Неопределенность в том, что изменяются параметры в процессе работы систем по заранее неизвестным законам, но известны диапазоны вероятных значений постоянных параметров или пределы изменяющихся параметров. В данном случае имеет место говорить о параметрической интервальной неопределенности. И системы имеющие такие параметры называются интервальными системами (ИС) автоматического управления [1].

Существует два основных подхода к исследованию ИС: детерминированный и стохастический. В стохастическом подходе, в качестве постулата является гипотеза о вероятностной природе неопределенности. Детерминированный подход использует гарантированные оценки. Будем использовать данный подход для анализа и синтеза ИС.

Допустим, что линейная ИС описывается передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{W_1(s, q)}{W_2(s, q)},$$

где полиномы $W_1(s, q)$ и $W_2(s, q)$ зависят от интервальных параметров, образующих вектор q . Так как $q_i \in [q_{i \min}, q_{i \max}]$, $i \in \overline{1, m}$, то интервальные параметры образуют многогранник P , представляющий собой прямоугольный гиперпараллелепипед с числом вершин 2^m .

Интервальность параметров q приводит к видам неопределенности ее характеристического полинома: его коэффициенты могут являться как интервалами, как функциями интервалов. Имеется четыре вида неопределенности характеристических полиномов:

- Интервальная неопределенность;
- Аффинная неопределенность;
- Полилинейная неопределенность;
- Полиномиальная неопределенность.

Далее немного подробнее о классификации характеристических полиномов по видам неопределенности, используя систему второго порядка.

Интервальная неопределенность - коэффициенты полинома являются интервальными параметрами $(s^2 + q_1s + q_2, q_i \in [q_{i \min}, q_{i \max}])$.

Аффинная неопределенность - коэффициенты полинома образованы суммой или разностью интервальных параметров $(s^2 + (q_1 + q_2 + 4q_3)s + q_1 - 5q_2, q_i \in [q_{i \min}, q_{i \max}])$.

Полилинейная неопределенность - коэффициенты полинома линейно зависят от каждого параметра, если остальные параметры фиксированы $(s^2 + (q_1q_2 + 4q_3)s + 5q_1q_2, q_i \in [q_{i \min}, q_{i \max}])$.

Полиномиальная неопределенность - коэффициенты полинома зависят полиномиально хотя бы от одного параметра $(s^2 + (q_1q_2 + 4q_3^2)s + q_2, q_i \in [q_{i \min}, q_{i \max}])$.

Анализ ИС будет более сложным, если коэффициенты полинома являются сложными функциями интервальных параметров. Но для интервальной и аффинной неопределённости существуют довольно-таки простые методы анализа интервальных систем.

Зададим вид интервального полинома $D(s,q)=a_n(q)s^n+ a_{n-1}(q)s^{n-1} + \dots + a_1(q)s+a_0(q)$, $q \in P_m$, где параметры q меняются в множестве P_m .

Приведенный выше интервальный полином будет робастно устойчивым, если он устойчив при всех $q \in P_m$. Здесь нельзя использовать известные критерии устойчивости, из-за того, что множество P_m содержит бесконечно много элементов. В. Харитоновым, в 1978 году, был разработан метод анализа ИС. Метод основывается на теореме, которой в последствии дали имя автора - теорема Харитонова [2].

Данная теорема звучит так:

Для робастной устойчивости полинома $D(s,q)$ с интервальной неопределенностью необходимо и достаточно, чтобы четыре сформированных специальным образом полинома (2) Харитонова были

устойчивы (полиномы Харитоновы). Коэффициенты этих полиномов имеют предельные значения из заданных интервалов [3].

Несмотря на довольно хороший результат, теорема имеет ограничение, которое заключается в том, что позволяет оценивать робастную устойчивость полиномов только с интервальными параметрами.

Данная теорема используется в более сложной аффинной неопределенности в интервальном характеристическом полиноме (ИХП). Вводим понятие рёберного полинома, который соответствует ребру параметрического многогранника P_m , соединяющий две соседние вершины. Данные вершины составляют вершинные полиномы. Чтобы семейство полиномов было робастно устойчиво, необходимо и достаточно устойчивость всех его рёберных полиномов.

Реберная теорема:

Полином устойчив в любой точке многогранника, если он устойчив вдоль его ребер.

Данная теорема эффективна в применении, только если число интервальных параметров сравнительно мало.

Далее использовался метод анализа принадлежности корней ИХП сектору в левой полуплоскости [3]. В частотной области формируется 4 вершинных полинома степени $2n$ и проверяется их устойчивость, где n – это порядок полинома. Количество вершинных полиномов не зависит от степени ИХП. Но и это достаточно трудоемко.

Вышеперечисленные методы не дают нам ответы на то, в каких пределах сохраняется устойчивость. Вследствие чего и возникает актуальность разработки методов исследования ИС.

Рассмотрим ИХП с интервальной неопределенностью в виде:

$$P(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i, \quad a_{i\min} \leq a_i \leq a_{i\max},$$

где n – максимальная степень ИХП, a_i – интервальные коэффициенты.

Области отображения ПМ коэффициентов полинома ограничены образами его ребер, по ним можно определить робастные_корневые показатели качества ИС, при интервальной и аффинной неопределенностях. Границы областей локализации определяются только некоторыми ребрами, которые задают минимальный реберный маршрут [4].

При интервальной неопределенности ИХП можно сделать переход от анализа отображения ребер параметрического многогранника к анализу отображения только его вершин. Для проверки принадлежности корней ИХП заданной области осуществляется проверка попадания в нее корней 2-вершинных полиномов, соответствующих всем вершинам многогранника P_m ИХП.

В работе рассматриваются системы автоматического управления с интервальной и аффинной неопределенностями их характеристических полиномов.

Для анализа робастного качества системы с интервальной или аффинной неопределенностью используется корневой подход с использованием метода корневого годографа и реберной теоремы. В основу этого подхода легло определение свойств отображения ребер и вершин параметрического многогранника ИС на комплексную плоскость корней. Целью при этом является нахождение существенных ребер, отображающихся на границы областей локализации полюсов ИС. Задача анализа робастного качества сводится к оценке качества ИС на этих существенных ребрах. Работа посвящена оптимизации алгоритмов анализа робастной устойчивости интервальных систем. Также рассматривается влияние взаимного расположения полюсов передаточной функции на прямые показатели качества переходного процесса [4].

О выборе инструмента для анализа ИС. Методики необходимо алгоритмизировать и привести до программной реализации на ЭВМ. Будет использоваться среда MathCad, которая эффективно применяется в различных областях при решении прикладных задач. Пакет MathCad имеет простой и

гибкий язык программирования, он позволяет писать программы, которые довольно-так просты и понятны. Широкий выбор эффективных базовых функций, а также наличие специализированных библиотек пакета MathCad для достижения поставленных целей.

В случае интервальной неопределенности полинома, параметрический многогранник образуется его интервальными коэффициентами, а в аффинной неопределенности - интервальными параметрами системы, которые линейно входят в коэффициенты ИХП.

1 ОТОБРАЖЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МНОГОГРАННИКА

1.1. Основные понятия и обозначения отображения параметрического многогранника

Для исследования робастной устойчивости систем с интервальной неопределенностью, воспользуемся информацией из работ В.Л. Харитонова. В системе с интервальной неопределенностью, характеристический полином имеет вид:

$$P(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i, \quad \underline{a}_i \leq a_i \leq \overline{a}_i, \quad (1)$$

где a_i - интервальные коэффициенты, \overline{a}_i - максимальное значение a_i , а \underline{a}_i - его минимальное значение.

Далее воспользуемся четырьмя полиномами, которые составлены из крайних значений коэффициентов. Чередуются таким образом – два нижних значения – два верхних:

$$\begin{aligned} P_1(s) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1 s + \overline{a}_2 s^2 + \overline{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_2(s) &= \overline{a}_0 + \underline{a}_1 s + \underline{a}_2 s^2 + \overline{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_3(s) &= \overline{a}_0 + \overline{a}_1 s + \underline{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_4(s) &= \underline{a}_0 + \overline{a}_1 s + \overline{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s^3 + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Данные полиномы носят название – полиномы Харитонова [2]. Формулировка теоремы приводится ранее. Приведём теорему Харитонова: для робастной устойчивости интервальных параметров необходимо и достаточно, чтобы полиномы Харитонова являлись устойчивыми.

Пусть у полинома m интервальных коэффициентов, эти коэффициенты формируют параметрический многогранник, который представляет собой прямоугольный гиперпараллелепипед, содержащий 2^m вершин и $m \cdot 2^{m-1}$ ребер. Пример данного многогранника для полинома системы с 3 интервальными коэффициентами показан на рисунке 6.

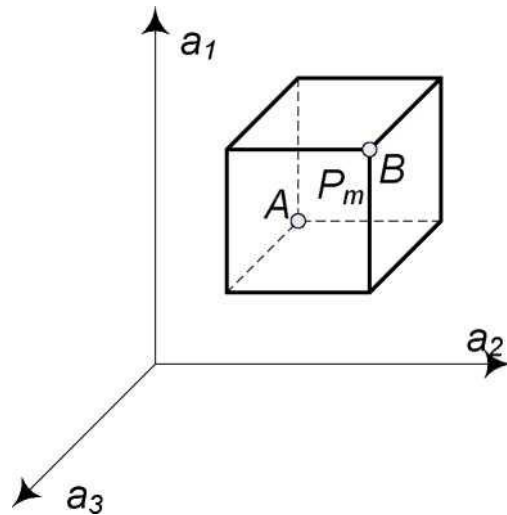


Рисунок 6 – Параметрический многогранник P_m

Точки P_m имеют координаты, относительно вершины V_q , $q = \overline{1, 2^m}$, которые определяются выражениями:

$$\begin{aligned} a_i &= a_i^q + \Delta a_i, i = \overline{1, n}, \\ \underline{a_i - a_i^q} &\leq \Delta a_i \leq (\overline{a_i - a_i^q}), \end{aligned} \quad (3)$$

где Δa_i – это приращение i -го параметра интервального, a_i^q – это его значение в вершине V_q . $M(s)$ и $N(s)$ – два соседствующих полинома, которые определяются двумя соседними вершинами, связанными ребром. Реберный полином представляет собой однопараметрическое семейство вида

Пусть задан параметрический $\gamma M(s) + (1 - \gamma)N(s)$, где $0 \leq \gamma \leq 1$.

многогранник P_m . Тогда для робастной устойчивости полиномов, которые задаются многогранником P_m необходима и достаточна устойчивость его реберных полиномов. Данная теорема справедлива в этом случае и называется реберной. Позволяет проверять робастную устойчивость, если число m неопределенных коэффициентов мало.

Для проверки робастной устойчивости достаточно проверить только те ребра, образы которых составляют границы областей локализации корней полинома.

Отображения вершин V_q многогранника обозначим через U_q . На рисунке 7 показано изображение вершин P_m на комплексную плоскость корней, при

котором комплексно-сопряженные корни располагаются в двух областях, которые ограничиваются образами ребер P_m .

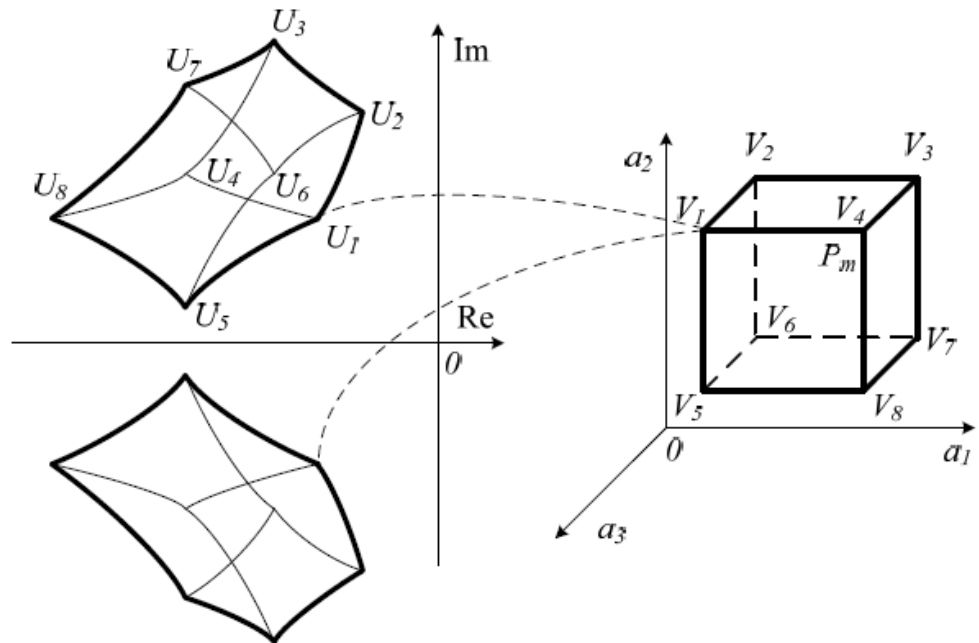


Рисунок 7 – Отображение вершин ПМ

Обозначим ребра интервального полинома через R^q , $i=1, m$, где m - количество интервальных коэффициентов, q - это порядковый номер вершины. Обозначим через RS_i^q образы ребер и будем называть их реберные ветви. Ребра P_m , их образы изображены на рисунке 8.

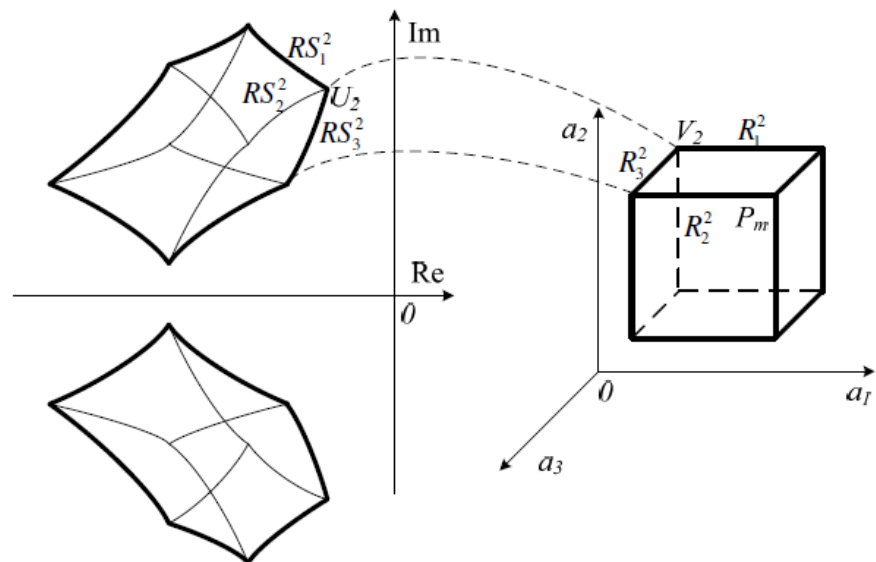


Рисунок 8 – Отображение ребер ПМ

Любая грань многогранника P_m по определению является прямоугольником на плоскости изменения двух интервальных коэффициентов из одной вершины. Грани интервального полинома обозначим через $i=\overline{1, m}$, $j=\overline{1, m}$, $i \neq j$, q – это порядковый номер вершины. Образы граней обозначаются, как GS_{ij}^q (рисунок 9)

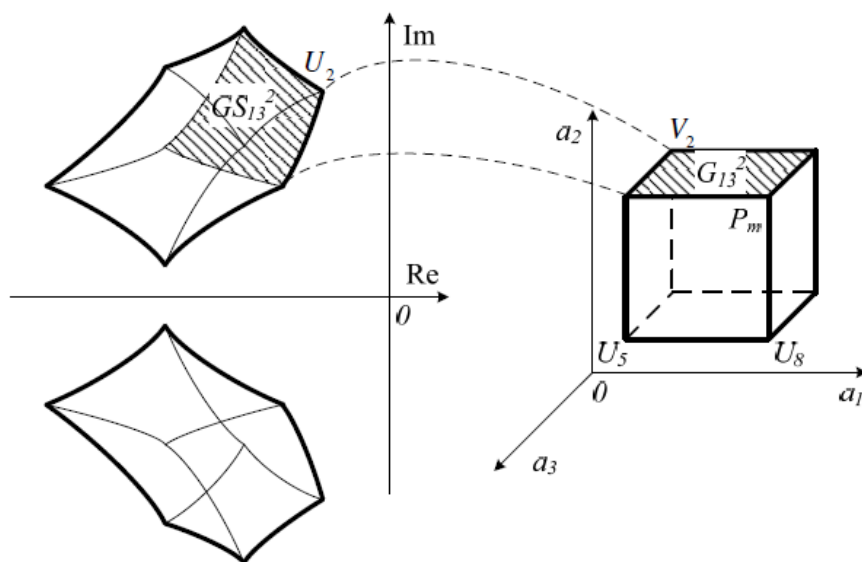


Рисунок 9 – Отображение граней ПМ

Обозначим как φ_j угол выхода из корневого узла U_q по j параметру (рисунок 10). Векторы, которые определяют углы выхода реберных ветвей – E_j [8].

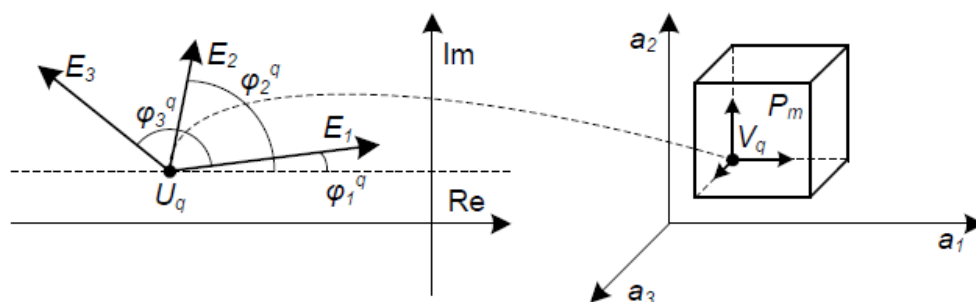


Рисунок 10 – Углы выхода реберных ветвей

1.2. Параметрический многогранник. Свойства отображения при интервальной неопределённости

Для отображения $\varphi: P_m \rightarrow S$ необходимо иметь соотношение, которое связывало бы координаты точек P_m с n корнями, где S – это множество корней полинома (1). Данным соотношением для интервальной неопределённости является равенство, которое получается при подстановке в (1) выражение (3):

$$P(s) + \sum_{i=0}^n \Delta a_i s^i \quad (5)$$

Далее запишем, как отображается ребро R_i^q на плоскость корней:

$$P(s) + \Delta a_i s^i = 0 \quad (6)$$

Пусть это уравнение будет характеристическим уравнением системы с единичной о.с. Следовательно передаточная функция разомкнутой системы для ребра имеет вид:

$$W_i^q(\Delta a_i, s) = \frac{\Delta a_i s^i}{P(s)} \quad (7)$$

Проанализировав уравнения (6) и (7) со стороны теории о корневом годографе, видно, что при изменении Δa_i , корни двигаются от полюсов (7) к корням (6) на конце R_i^q . Также они образуют фрагментами ветви корневого годографа.

Для отображения $\varphi: P_m \rightarrow S$ справедливы выражения $\varphi(R_i^q) = RS_i^q$, $\varphi(V_q) = U_q$. Поэтому, по реберной теореме области локализации корней ограничены рёберными ветвями RS_i^q интервальных однопараметрических корневых годографов. Благодаря этому выводу, можно рассматривать S как интервальный многопараметрический корневой годограф.

Далее запишем уравнение отображения плоскости грани G_{ij}^q при снятых интервальных ограничениях:

$$a_i s^i + a_j s^j + P(s) = 0 \quad (8)$$

Допустим, что один из корней уравнения (8) вида $s_r = \alpha + j\beta, r \in \overline{1, n}$. Далее подставим в (8) координаты s_r и выделим мнимую и вещественную части. Получим систему линейных уравнений с двумя переменными:

$$\begin{cases} a_i \operatorname{Re}(\alpha + j\beta)^i + a_j \operatorname{Re}(\alpha + j\beta)^j + \\ \operatorname{Re}[\sum_k a_k^q (\alpha + j\beta)^k + \sum_p a_p (\alpha + j\beta)^p] = 0 \\ a_i \operatorname{Im}(\alpha + j\beta)^i + a_j \operatorname{Im}(\alpha + j\beta)^j + \\ \operatorname{Im}[\sum_k a_k^q (\alpha + j\beta)^k + \sum_p a_p (\alpha + j\beta)^p] = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Для уравнений описанной выше системы характерны случаи, такие как:

1. Уравнения независимы, а также система имеет одно решение $a_i = a_i^*$, $a_j = a_j^*$. Поэтому, $\varphi^{-1}(s_r) = P^*$, где $P^* = (a_i^*, a_j^*)$, причём $P^* \in G_{ij}^q$.
2. Отличие уравнений в постоянном множителе. Поэтому, существует особая прямая t в $\varphi^{-1}(s_r) = P^*$ плоскости G_{ij}^q .

На рисунке 11 представлена особая прямая, которая описывается любым из уравнений системы (9), причём $\varphi^{-1}(s_r) = t$.

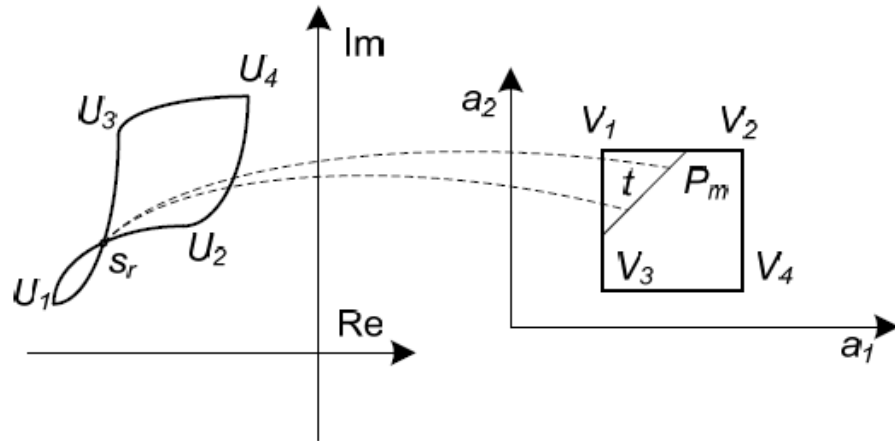


Рисунок 11 – Отображение особой прямой

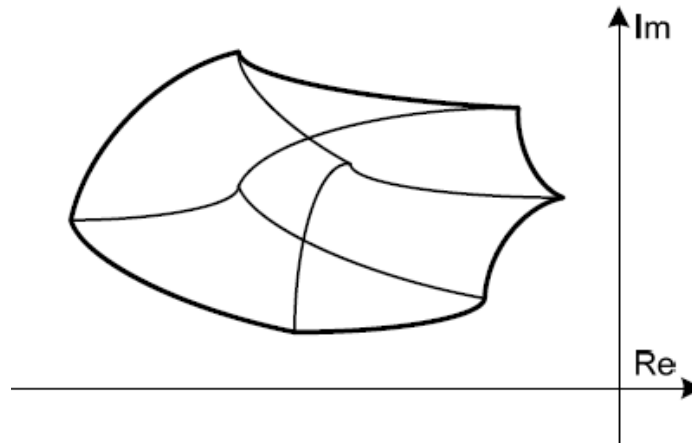
Далее рассмотрим границы области локализации данного корня при условии, что $\varphi^{-1}(s_r) = G_{ij}^q$ (10).

Пусть, $P^* \in G_{ij}^q$. RS_i^q – единственная ветвь, которая проходит через s_r , потому что координаты P^* единственное решение системы (9). Поэтому, при условии (10) границами s_r будут непересекающиеся образы рёбер G_{ij}^q .

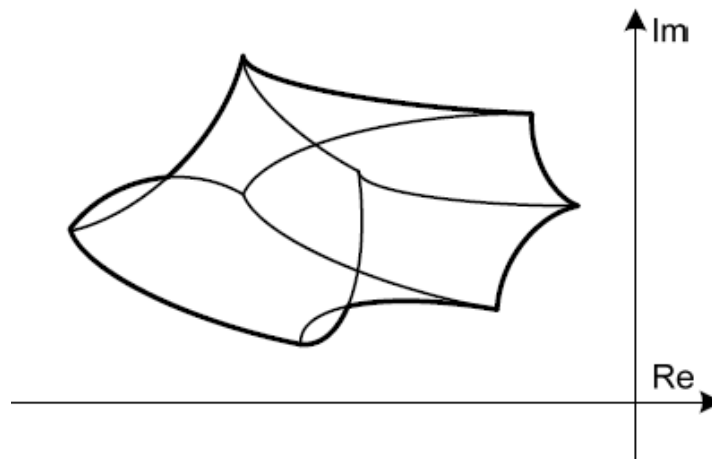
Входят RS_i^q в состав границ области локализации корней уравнения (1) и полностью, и частично, при этом пересекаясь в U^* . Дадим название таким рёберным ветвям – граничные и обозначим через GRS_i^q , а их прообразы

назовём граничными рёбрами и обозначим как GR_i^q . Образы вершин, которые принадлежат GR_i^q , назовём граничными корневыми узлами GU_q .

Ниже приведём как отображается параметрический многогранник системы, которая имеет три интервальных параметра, на комплексную плоскость корней [8].



а)



б)

Рисунок 12 – Образование границ областей локализации корней ИХП

Область s_r , у которой границы это непересекающиеся образы рёбер P_m , представлена на рисунке 12а. А на втором рисунке, 12б, эта область ограничена пересекающимися образами рёбер P_m .

Для $\varphi: P_m \rightarrow S$ существует один набор GR_i^q , который составляет искомый рёберный граничный маршрут. Если $U^* \in s_r$, то GRS_i^q могут входить в состав

границы s_r и полностью, и частично, но последний случай – результат их пересечения в узлах U^* . Необходимо учитывать наличие U^* в областях s_r при определении набора GR_i^q .

Необходимое условие $U^* \in s_r$ является наличие прямых t в плоскостях P_m . Прямая t будет в хотя бы в одной плоскости граней P_m , имеющая одну общую вершину, это и будет необходимым условием $U^* \in s_r$. Число таких плоскостей C_m^2 .

Условие для существования прямой t в пространстве коэффициентов a_i и a_j и её отображение в $U^*(\alpha, j\beta)$ – это линейная зависимость уравнений (9). Существование данной зависимости может быть, только если имеются такие значения α и β , при которых выполняются неравенства (11):

$$\frac{Re((\alpha + j\beta)^i)}{Im((\alpha + j\beta)^i)} = \frac{Re((\alpha + j\beta)^j)}{Im((\alpha + j\beta)^j)} =$$

$$\frac{Re[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p)]}{Im[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p)]}$$

Эти α и β являются решениями полученных из систем (11) нелинейных Уравнений (12):

$$\left\{ \begin{array}{l} Re((\alpha + j\beta)^i) Im((\alpha + j\beta)^i) - Re((\alpha + j\beta)^j) Im((\alpha + j\beta)^j) = 0 \\ Re \left[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p) \right] - \\ Im \left[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p) \right] = 0 \end{array} \right.$$

s_r расположение в левой полуплоскости для устойчивого полинома. Откуда узлы U^* будут иметь координаты $\alpha < 0$ и $\beta \neq 0$ [9].

Узлы U^* пересечения рёберных ветвей будут существовать в отображениях плоскостей граней, которые получились коэффициентами полинома (1) с индексами, которые удовлетворяют следующему условию:

$$|i - j| \geq 3 \quad (13)$$

Необходимое условие для $U^* \in S_r$ – наличие пары интервальных коэффициентов с индексами, которые удовлетворяют условию (13) в уравнении (1).

1.3. Параметрический многогранник. Свойства отображения при аффинной неопределённости

Далее для аффинной неопределённости разберём свойства отображения. То есть интервальные – реальные параметры системы, которые линейно входят в коэффициенты характеристического полинома. Характеристический полином системы:

$$D(s) = \sum_{i=0}^m (T_i * A_i(s)) + B(s) = 0, \quad \underline{T}_i \leq T_i \leq \overline{T}_i \quad (14)$$

В случае отображения $\varphi: P_m \rightarrow S$ берём выражение:

$$D_q(s) + \sum_{i=0}^k (\Delta T_i * A_i(s)) = 0 \quad (15)$$

где $D_q(s)$ – полином, в котором значения интервальных параметров соответствует вершине q параметрического многогранника.

Далее приведём уравнение отображения ребра на комплексную плоскость корней:

$$D_q(s) + \Delta T_i * A_i(s) = 0 \quad (16)$$

Однопараметрический интервальный корневой годограф образуется путём изменения ΔT_i корни (16) стремятся к нулям функции от её полюсов.

Запишем далее уравнение отображения плоскости грани G_{ij}^q на основании (14):

$$D_q(s) + \Delta T_i * A_i(s) + \Delta T_j * A_j(s) = 0 \quad (17)$$

Есть $s_r = \alpha + j\beta, r \in \overline{1, n}$. Далее подставим в (17) s_r и получим систему из двух линейных уравнений, две переменные T_i и T_j :

$$\begin{cases} T_i * \operatorname{Re}(A_i(\alpha + j\beta)) + T_j * \operatorname{Re}(A_j(\alpha + j\beta)) + \operatorname{Re}(D_q(s)) = 0; \\ T_i * \operatorname{Im}(A_i(\alpha + j\beta)) + T_j * \operatorname{Im}(A_j(\alpha + j\beta)) + \operatorname{Im}(D_q(s)) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Для уравнений выше, характерны два случая, такие как:

1. У системы имеется единственное решение и уравнения независимы, $T_i = T_i^*, T_j = T_j^*$. Поэтому, $\varphi^{-1}(s_r) = P^*, P^* = (T_i^*, T_j^*)$, причём точка P^* в плоскости G_{ij}^q .
2. Отличия уравнений в постоянном множителе. Получается, что в плоскости G_{ij}^q имеется такая прямая t , которая может описываться любым уравнением системы (18), причём $\varphi^{-1}(s_r) = t$.

Рёберные ветви входят в состав границы полностью и частично, при этом пересекаясь в U^* , для полинома с аффинной неопределённостью при отображении рёбер P_m . Условие наличия U^* .

Этим условием является линейная зависимость уравнений (9). Данная зависимость будет иметь место, только если существуют α и β , при которых выполняются равенства:

$$\frac{ReA_i(\alpha + j\beta)}{ImA_i(\alpha + j\beta)} = \frac{ReA_j(\alpha + j\beta)}{ImA_j(\alpha + j\beta)} = \frac{Re(D_q(\alpha + j\beta))}{Im(D_q(\alpha + j\beta))} \quad (19)$$

Решим систему (19) из двух нелинейных уравнений для проверки:

$$\begin{cases} Re(A_i(\alpha + j\beta)) * Im(A_j(\alpha + j\beta)) - Re(A_j(\alpha + j\beta)) * Im(A_i(\alpha + j\beta)) = 0; \\ Re(A_j(\alpha + j\beta)) * Im(D_q(\alpha + j\beta)) - Im(A_j(\alpha + j\beta)) * Re(D_q(\alpha + j\beta)) = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Полиномами нечётной степени β без свободного члена являются левые части уравнений систем (20). В отображениях рассматриваемой грани и параллельных сечений P_m отсутствует U^* , если у системы (20) нет решений с $\beta \neq 0$. Если же решений у системы (20) нет для всех сочетаний интервальных параметров, то границы S_r состоят из непересекающихся рёберных ветвей [10].

2 АНАЛИЗ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

2.1. Корневые показатели качества

Имеется проблема в теории робастного управления – это исследование динамических свойств интервальных систем, в которых коэффициенты ИХП лежат в заданных пределах. Возник интерес к данной проблеме из-за возможности дать проектировщику систем управления инструмент для оценки показателей качества интервальных систем.

То есть понятие относительной устойчивости предусматривает различные варианты расположения корней ИХП. Малое внимание уделяется корневым методам для анализа устойчивости.

Количественные характеристики – для оценки не только устойчивости, а также с их помощью можно оценить динамические свойства системы. У интервальных системам оценивается работа системы в режимах, таких как: с наименьшей степенью устойчивости и с наибольшей колебательностью. Необходимы такие корни, определяющие максимальную колебательность и минимальную степень устойчивости [11]. Ниже, на рисунке 13 показано расположение области локализации корней интервального характеристического полинома на комплексной плоскости.

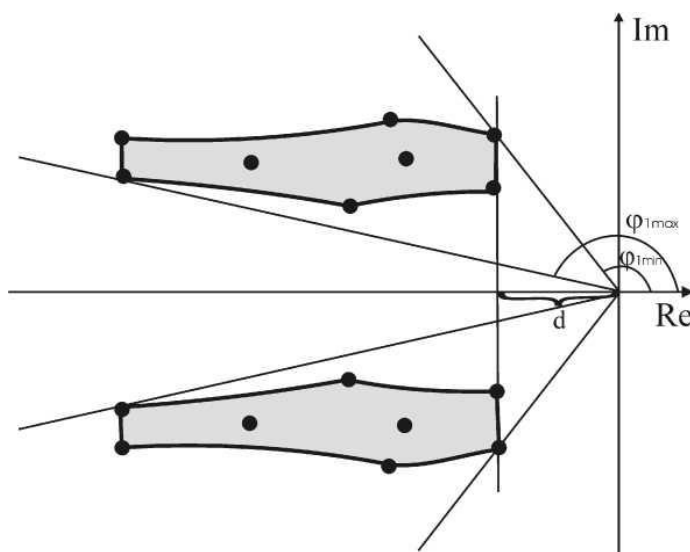


Рисунок 13 – Область локализации корней

Рассматривая данный пример, выходит, что корнями одного вершинного полинома определяются максимум колебательности и минимум степени устойчивости ИС. Но их может существовать два, к примеру, один – для определения максимальной колебательности, а второй – для минимальной степени устойчивости.

2.2. Интервальная неопределённость. Определение граничных вершин

Колебательность и степень устойчивости САУ при интервальной неопределённости определяется вершинами параметрического многогранника ИХП. Необходимо применить методику, где определяется только вершины, по которым проходит граничный рёберный маршрут, так как при увеличении количества интервальных коэффициентов количество вершин возрастает, из-за этого труднее процедура проверки всех вершин для анализа корневых показателей. Благодаря проверки граничных вершин, можно судить о робастном качестве ИС.

Далее приведём уравнения углов выхода рёберной ветви из вершины q при изменении коэффициента a_i . Угол θ_i^q при увеличении a_i находится с помощью формулы:

$$\theta_i^q = 180^\circ - \sum_{g=1}^n \theta_g + i \theta_0 \quad (21)$$

при уменьшении a_i

$$\theta_i^q = - \sum_{g=1}^n \theta_g + i \theta_0 \quad (21)$$

где θ_g, θ_0 – углы между вещественной осью и векторами, которые направлены к g -ому полюсу из U_q и к i нулям функции (13), у которых координаты $(0;j0)$ одинаковы [12].

Принадлежность U_q границе области локализации корня имеется, только если разница между углами θ_i^q максимальным и минимальным меньше 180° .

Присутствует общая составляющая $\sum_{g=1}^n \theta_g$ у углов θ_i^q , которая не воздействует на выполнение условия граничного расположения U_q . Вследствие чего, перейдём к рассмотрению углов Φ_i^q , при увеличении a_i рассчитывается по формуле:

$$\Phi_i^q = \pi + i\theta_0 \quad (22)$$

а также, как указано ранее при уменьшении a_i :

$$\Phi_i^q = \theta_0 \quad (23)$$

Рассмотрим единичные векторы \bar{E}_i , которые идут под углами Φ_i^q из начала координат. При задании значения θ_0 , угол вектора коэффициента можно определить без соответствующего вычисления корней вершинного полинома, согласно с (22), (23). Узел U_q принадлежит границе корневой области, если векторы \bar{E}_i интервальных коэффициентов будут расположены в угле, который меньше, чем 180 градусов. То есть по расположению \bar{E}_i относительно друг друга можно судить о характере данного узла.

При помощи круговой диаграммы можно довольно просто проверить выполнение данного условия, построив \bar{E}_i . Имеется 4 интервальных коэффициента, на их примере показано вероятное расположение \bar{E}_i на рисунке 14, для случая граничной вершины.

С помощью изменения предела коэффициента с минимума на максимум или наоборот можно повернуть соответствующий вектор на 180 градусов. Что позволяет при выборе одного из векторов (крайний), располагать другие векторы по желанию. Формирование пределов коэффициентов граничной вершины P_m данным способом можно сделать довольно-таки просто.

При построении, ниже, на круговой диаграмме (рисунок 14), для всякого из m коэффициентов ИХП построить два противоположных вектора, то любые m векторов (последовательное расположение) будут лежать в угле, который меньше, чем π , а также находить координаты граничной вершины P_m .

Получается, задавая сторону вращения, выбирая при этом в качестве начального каждый из $2m$ векторов, получаем набор из $2m$ вероятных граничных вершин P_m .

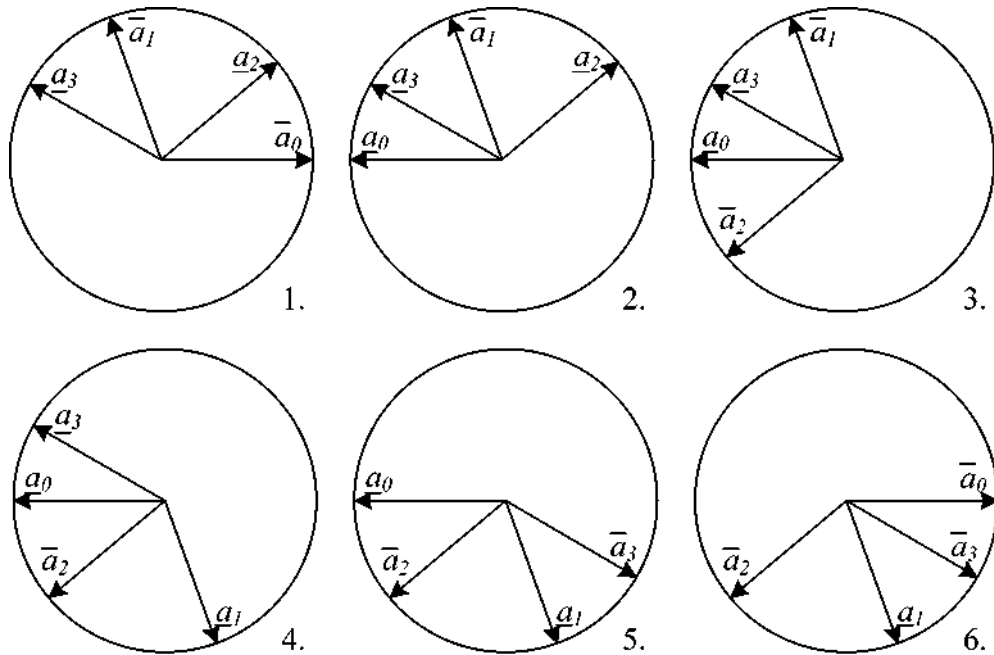


Рисунок 14 – Векторы вершин

2.3. Интервальная неопределённость. Вершинный анализ робастного качества

Берём во внимание свойство границ областей локализации ИХП, когда определяем набор проверочных вершинных полиномов. Из-за того, что рёберные ветви RS_i^q могут входить в число границ корневых областей частично, имея пересечение в определённых точках, выходит пересечение на луче рёберных ветвей грани, которая образована коэффициентами a_i и a_j . Данный луч под углом $\varphi = \pi - \frac{\pi}{|i-j|}$ выходит из начала координат. U_q , которые граничат в одном секторе, могут стать внутренними в другом секторе при переходе через указанные выше особые лучи [16]. Из-за этого нужно учитывать этот факт при формировке граничных вершин P_m . Для чего

определяем эти особые лучи, которые лежат в угле γ . Углы особых лучей $\varphi = \pi - \frac{\pi}{n-k}$, $k=0,1,2,\dots,n-2$.

Формировка граничных вершин проходит способом, представленным ранее, при любом θ_0 из диапазона

$$\pi - \frac{\pi}{n} < \theta_0 < \pi \quad (24)$$

это производится, если не имеет особых лучей угол γ заданного сектора.

Но если угол γ имеет особые лучи, то понадобится сделать эту операцию при θ_0 из дополнительных диапазонов [17]

$$\pi - \frac{\pi}{n-k+1} < \theta_0 < \pi - \frac{\pi}{n-k+2}, k = 0,1,2 \dots, k_{max} \quad (25)$$

$$\pi - \gamma < \theta_0 < \pi - \frac{\pi}{n-k_{max}+1} \quad (26)$$

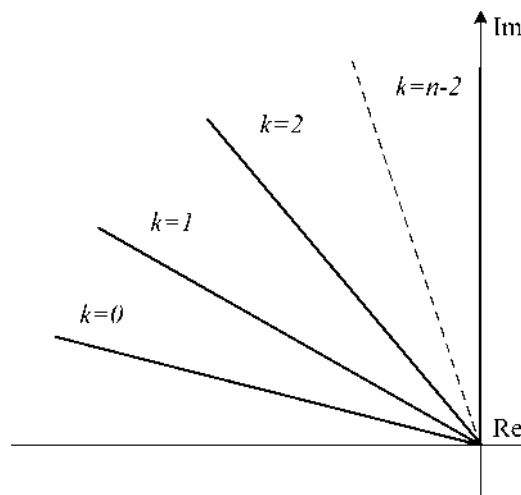


Рисунок 15 – Возможное расположение особых лучей

Полученное объединение множеств вершин (при различных значениях θ_0) – это есть полное множество граничных вершин P_m . По формуле можно определить количество граничных вершин P_m . Эта формула $2(n+1 + \sum_{i=0}^k i)$

2.4.Аффинная неопределённость. Определение граничных вершин

На рисунке 16 – условия принадлежности U_q границе S_r . Для чего вводим угол выхода R_i^q из U_q , обозначение данного угла будет через θ_i^q . Найдём θ_i^q , если $D^q(s)$ со степенью n , $A_i(s)$ со степенью z , при увеличении T_i по формуле:

$$\theta_i^q = 180^\circ - \sum_{k=1}^n \theta_k + \sum_{l=1}^z \theta_l \quad (27)$$

при уменьшении T_i

$$\theta_i^q = - \sum_{k=1}^n \theta_k + \sum_{l=1}^z \theta_l \quad (28)$$

где θ_k, θ_l – это углы между векторами, которые направлены из U_q к k -ому полюсу, и вещественной осью.

Проведём анализ направлений движений (рисунок 16), которые возможны, S_r из U_q . Рассмотрим при этом области отображения граней P_m с общей вершиной V_q . С помощью вектора $\bar{E}_{ij} = \bar{E}_i + \bar{E}_j$, рёберные векторы \bar{E}_i, \bar{E}_j задаются θ_i^q и θ_j^q . Вектор \bar{E}_{ij} выходит из U_q и находится внутри угла $\Psi_{ij}, 0 \leq \Psi_{ij} \leq 180$.

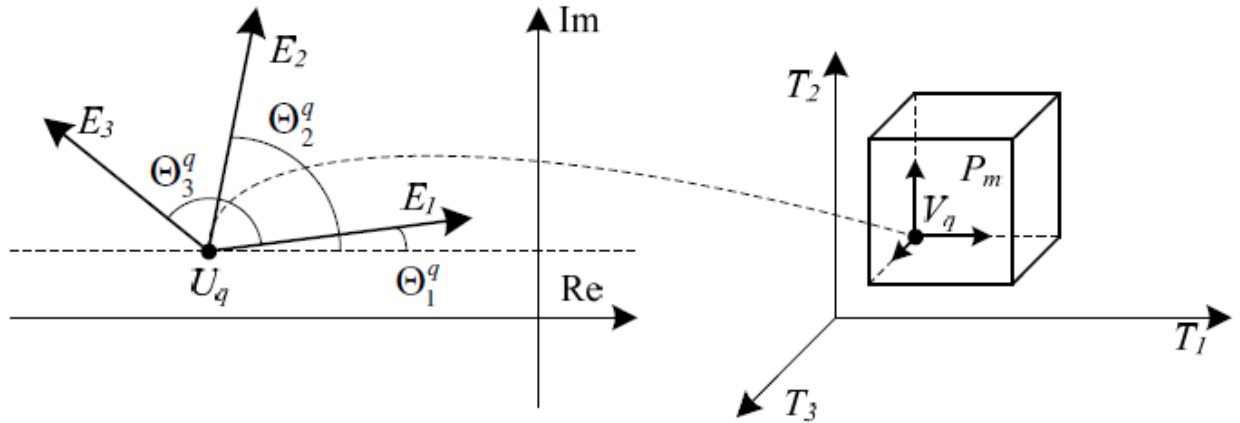


Рисунок 16 – Вершины ПМ их отображение

$$|\theta_m^{Vq} - \theta_i^{Vq}| < 180 \quad (29)$$

С помощью (29) можно узнать принадлежит ли вершина P_m границе области S_r локализации комплексного корня. Две граничные рёберные ветви выходят из GU_q , поэтому векторы которые им соответствуют образуют граничный угол $G\Psi_{ij}$. Получается, что оставшиеся углы Ψ_{ij} и рёберные векторы, которые их определяют, должны принадлежать $G\Psi_{ij}$.

Далее на рисунке 17 можно увидеть различные варианты, как располагаются векторы выхода RS_i^q из узла внутри S_r и граничного корневого узла GU_q [18].

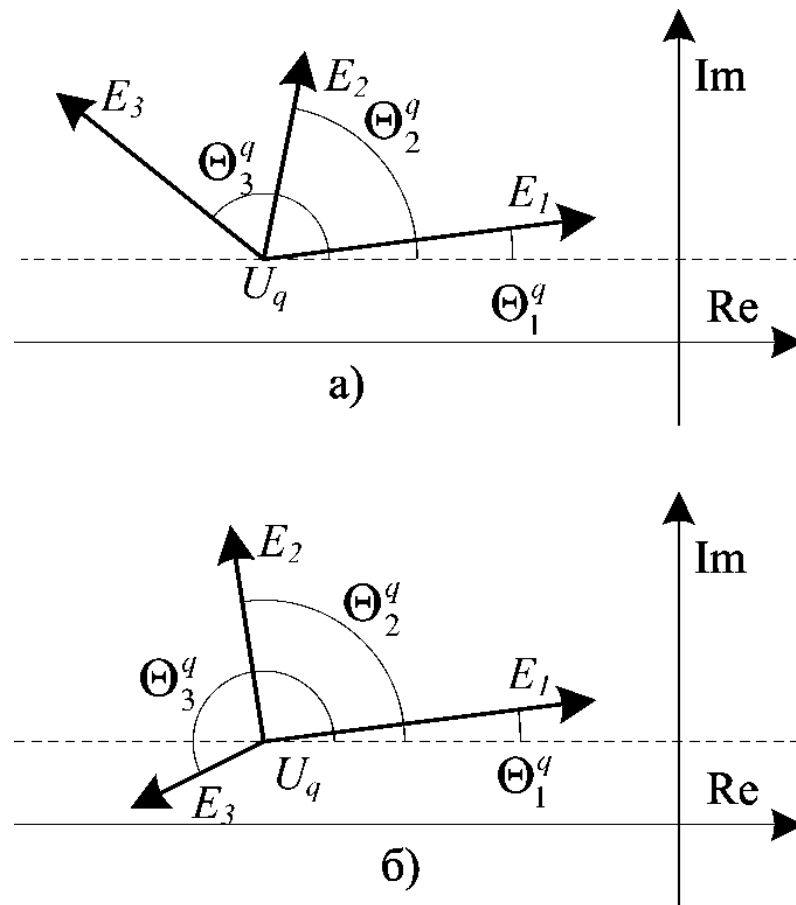


Рисунок 16 – Векторы выхода RS_i^q из корневого узла

2.5.Аффинная неопределённость. Рёберный анализ робастного качества

Одна граничная рёберная ветвь GRS_k , которая связывает две рёберные ветви RS_i и RS_j , выходящие из граничных соседствующих узлов S_r . Рёбрами одной грани P_m будут являться прообразы RS_i и RS_j [19].

Допустим, что $U^* \notin S_r$. Корень s_r по ребру GR_k движется по GRS_k (при изменении T_k). Также могут поменяться углы выхода из s_r таких ветвей, как RS_i^s и RS_j^s . Но, из-за того, что $U^* \notin S_r$, то RS_i^s и RS_j^s не имеют пересечений.

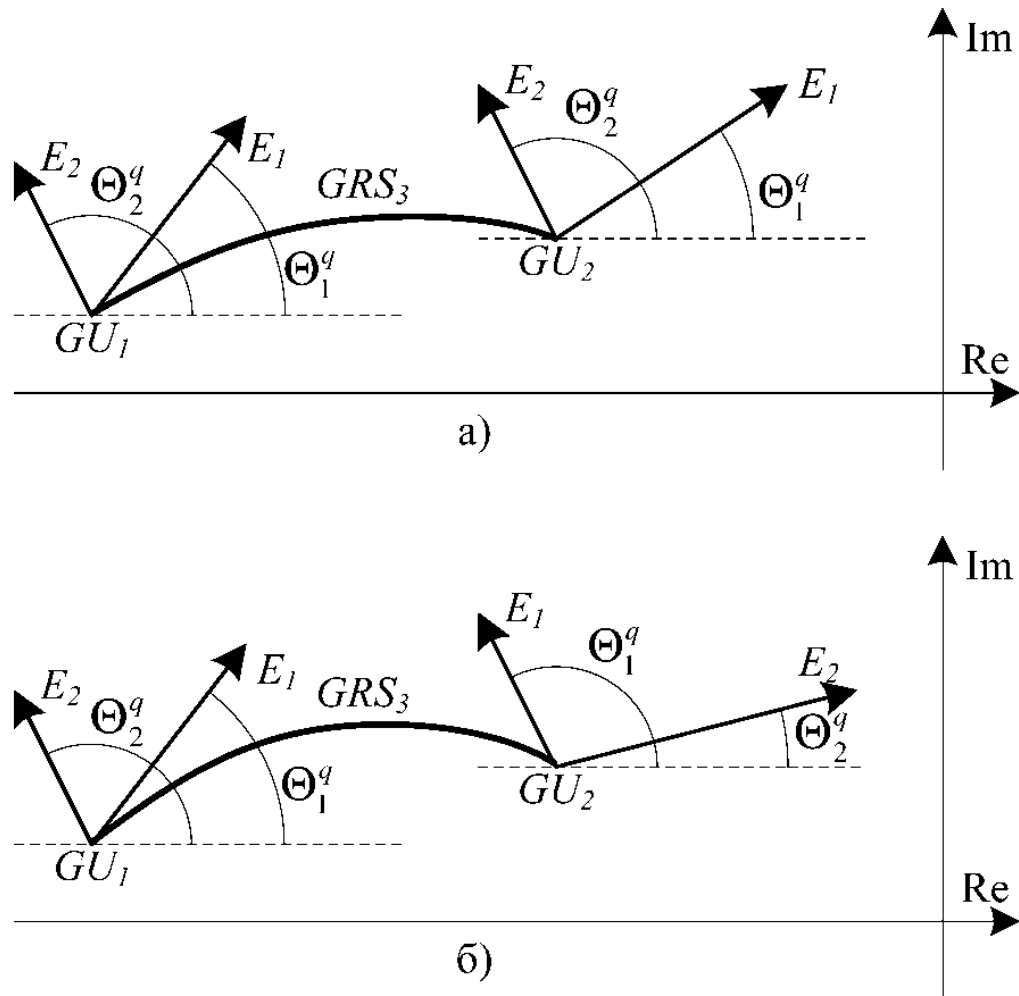


Рисунок 17 – Векторы выхода RS_i^q из корневого узла при изменении одного параметра

Как видно на рисунке 17, сохраняется последовательность θ_i^s и θ_j^s , при переходе s_r от одного к другому GU_q . Значения углов рёберных ветвей в соседствующих граничных корневых узлах располагаются в одинаковой последовательности.

Допустим, что $U^* \in S_r$. Получается, RS_i^s и RS_j^s могут иметь пересечение в U^* . На оставшемся участке GRS_k изменится соотношение θ_i^s и θ_j^s , если при изменении T_k получится, что $s_r = U^*$ и затем U^* выйдет из S_r . На рисунке 17б,

не будет последовательности углов выхода реберных ветвей в соседствующих граничных корневых узлах [20].

Запишем алгоритмы граничной реберной маршрутизации P_m для случая аффинной неопределенности на основании данных выше фазовых соотношений. Прделаем это для граничных реберных ветвей и анализирования возможности их пересечения в особых узлах.

Допустим, что системы (17) не имеют решений из граней P_m при аффинной неопределенности с выбранной общей вершиной ($U^* \notin S_r$). Следует, если известно GU_q , а также выходящая из него GRS_i^q , получается, что у граничной реберной ветви будет модуль разности между углом выхода и углом выхода GRS_i^q будет наименьшим либо наибольшим. Поэтому, можем узнать последовательность ветвей $RS_i^q, q = \overline{1, 2m}, i = \overline{1, m}$, которые ограничивают область локализации комплексного корня, если знаем величины углов $\theta_i^q, i = \overline{1, m}$, для всякого граничного корневого узла и расположив их при этом в порядке возрастания или убывания.

Данной последовательности соответствует замкнутый граничный реберный маршрут P_m . Этот маршрут состоит из $2m$ ребер, которые связывают m пар вершин P_m . При этом противоположные граничные значения интервальных параметров имеют координаты каждой пары.

В области S_r возможно наличие особого U^* , если имеется решение для одной пары интервальных параметров система (17). Если такое возможно, то находим узел GU_q , далее определяем последовательность θ_i^q и соотносящуюся ей последовательность ребер P_m [23]. Двигаясь по данному полученному реберному маршруту, при этом если очередное ребро и следующее за ним будут образованными интервальными T_i и T_j для которых (17) имеет решение, то в граничный реберный маршрут включаем все рёбра грани G_{ij} .

3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИЗА ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМ

3.1. MathCAD описание программного пакета

Множество вычислительных операций, расчёт характеристик, а также обработок результатов исследований производится при проектировании САУ. Для выполнения численного моделирования процессов и устройств существуют специализированные программные пакеты.

На практике могут быть такие задачи, которые не требуют привлечения сложных моделей. В данной ситуации достаточно эффективно используются общие математические пакеты, с помощью которых можно либо численно, либо аналитически решать математические задачи. При знаниях в предметной области и при навыках в математике можно решать прикладные задачи, используя численные математические методы.

Такой математический пакет, как MathCAD, позволяет вести различные научные и инженерные расчёты, к примеру, от простой арифметики и до реализации сложнейших численных методов. Пользователями данной программы могут быть студенты, преподаватели, инженеры, учёные, различные специалисты. Из-за простоты и наглядности математических операций, широкой библиотеки функций и методов, а также разных типов графиков MathCAD – это одно из самых популярных математических приложений. Просто введя выражение, при помощи редактора формул (в виде достаточно близком к стандартному математическому языку), получаем результат.

Мощный вычислительный, а также символьный процессоры, редактор для текста и формул, всё это в составе математического пакета MathCAD. В совокупности эти компоненты – это удобная вычислительная среда для широкого круга математических действий и, в то же время, для документирования результатов проделанной работы.

3.2. Теоритическое описание алгоритма рёберного анализа для определения робастных показателей качества

Рассмотрим параметрический многогранник, точнее его ребро с обозначенными интервалами П-правая и Л-левая границы (рисунок 18).

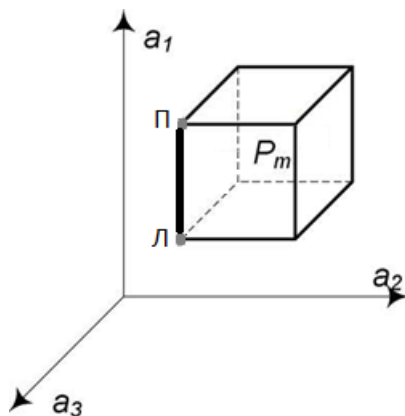


Рисунок 18 – Параметрический многогранник

Воспользуемся методом половинного деления для нахождения корней уравнения. Он заключается в следующем. Корень существует на отрезке, этот отрезок делится пополам, если знак функции в точке отличается от знака функции в начальной точке, значит корень расположен в первой половине отрезка, вторую же половину больше не рассматривают. Если же знаки совпадают, значит корень располагается во второй половине, а первая – выбрасывается. После все действия повторяются с отрезком, уменьшенным вдвое. Всё происходит пока длина отрезка, который остался определённого шага решения, не будет меньше ε . Значит, что любая точка данного отрезка может быть приближенным решением уравнения с заданной точностью ε .

Далее проделаем действия по аналогии с методом половинного деления. Разобьём ребро [П, Л], отмеченное жирной линией на рисунке выше, пополам точкой $s = \frac{П+Л}{2}$. Отходим от середины в две стороны на некоторое расстояние (приращение Δ). Отобразим всё на комплексной плоскости, затем найдём корни в этих точках (в т.с и в $s+\Delta$, $s-\Delta$). После того как нашли корни, определяем с какой половиной будем продолжать анализ, судя по углам корней. То есть, если угол к т. $s+\Delta$ меньше, чем угол к т. $s-\Delta$ значит берём в

рассмотрение отрезков от Π до точки s . И так далее продолжаем эти действия, пока не определим наихудшие показатели качества.

3.3. Программная реализация алгоритма рёберного анализа для определения робастных показателей качества

Алгоритм, разработанный в [4], рёберного анализа определяющий робастное качество системы с интервальными параметрами подразумевает выполнение таких этапов:

1. Приведём характеристический полином с аффинной неопределённостью к виду:

$$D(s) = \sum_{i=0}^m (T_i * A_i(s)) + B(s) = 0, \quad \underline{T}_i \leq T_i \leq \overline{T}_i$$

2. Определим координаты вершин P_m , которые соответствуют граничным значениям ИП.
3. Решить систему уравнений, представленную ниже, в любой из вершин P_m , для определения интервальных параметров, при этом граничные рёберные ветви могут иметь пересечение.
4. Находим граничный узел U^* области локализации корней. Если решений для системы ниже нет решений для сочетаний интервальных параметров это значит, что непересекающиеся рёберные ветви составляют границы S_r .

$$\begin{cases} Re(A_i(\alpha + j\beta)) * Im(A_j(\alpha + j\beta)) - Re(A_j(\alpha + j\beta)) * Im(A_i(\alpha + j\beta)) = 0; \\ Re(A_j(\alpha + j\beta)) * Im(D_q(\alpha + j\beta)) - Im(A_j(\alpha + j\beta)) * Re(D_q(\alpha + j\beta)) = 0. \end{cases}$$

5. По углам выхода рёберных ветвей из граничного корневого узла с учётом п3 граничная рёберная маршрутизация.
6. Затем отображаем граничный рёберный маршрут на коревую плоскость.
7. Определяем робастные показатели качества после проведённого анализа расположения областей локализации корней.

Для того чтобы определить такие корневые показатели качества, как максимальная колебательность и минимальная степень устойчивости, рассмотрим полином с аффинной неопределённостью:

$$D(s) = 10000s^2 + s(a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 3a_4 + 20) + 2a_1 + a_2 + 5a_3 + 5$$

где $a_1=[0;50]$; $a_2=[0;50]$; $a_3=[0;50]$; $a_4=[0;50]$.

Для интервального типа неопределённости корневые показатели качества определяются вершинами полинома, а для аффинной неопределённости – рёбрами ИХП.

Далее найдём рёберный маршрут, для этого рассчитаем нули полинома, представленного выше:

для a_1 : $s = -2$;

для a_2 : $s = -0,5$;

для a_3 : $s = -2,5$;

для a_4 : $s = 0$.

Будем изменять значения пределов интервальных коэффициентов в последовательности, начиная с a_4 , a_2 , a_1 , a_3 . Принимаем все значения за минимальные, но при этом варьируя a_4 . И далее производим смену значений, как представлено в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – Изменение пределов интервальных коэффициентов

Изменение варьируемого параметра	Варьируемые коэффициенты			
1	<u>a_4</u>	<u>a_2</u>	<u>a_1</u>	<u>a_3</u>
2	$\overline{a_4}$	<u>a_2</u>	<u>a_1</u>	<u>a_3</u>
3	$\overline{a_4}$	$\overline{a_2}$	<u>a_1</u>	<u>a_3</u>
4	$\overline{a_4}$	$\overline{a_2}$	$\overline{a_1}$	<u>a_3</u>
5	$\overline{a_4}$	$\overline{a_2}$	$\overline{a_1}$	$\overline{a_3}$
6	<u>a_4</u>	$\overline{a_2}$	$\overline{a_1}$	$\overline{a_3}$

7	<u>a4</u>	<u>a2</u>	<u>a1</u>	<u>a3</u>
8	<u>a4</u>	<u>a2</u>	<u>a1</u>	<u>a3</u>
9	<u>a4</u>	<u>a2</u>	<u>a1</u>	<u>a3</u>

Используем функцию polyroots, в ПП MathCAD, для нахождения корней полинома (рисунок 18). Особенностью данной функции является то, что не нужны начальные приближения. Она выдаёт все значения корней. Начиная с меньшей степени, формируется, в качестве аргументов, вектор V коэффициентов полинома, а результат – в виде вектора корней полинома.

$$C(a1, a2, a3, a4) := D(s, a1, a2, a3, a4) \text{ coeffs } , s \rightarrow \begin{pmatrix} 2 \cdot a1 + a2 + 5 \cdot a3 + 5 \\ a1 + 2 \cdot a2 + 2 \cdot a3 + 3 \cdot a4 + 20 \\ 10000 \end{pmatrix}$$

$$\text{coren1}(a1, a2, a3, a4) := \begin{cases} \text{for } i \in 0..50 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} i \leftarrow i + 5 \\ A \leftarrow \text{polyroots}(C(a1, a2, a3, a4)) \end{array} \right. \\ A \end{cases}$$

Рисунок 19 – Реализация нахождения корней полинома в ПП MathCAD

После расчётов определим минимальный рёберный маршрут на корневой плоскости (рисунок 19).

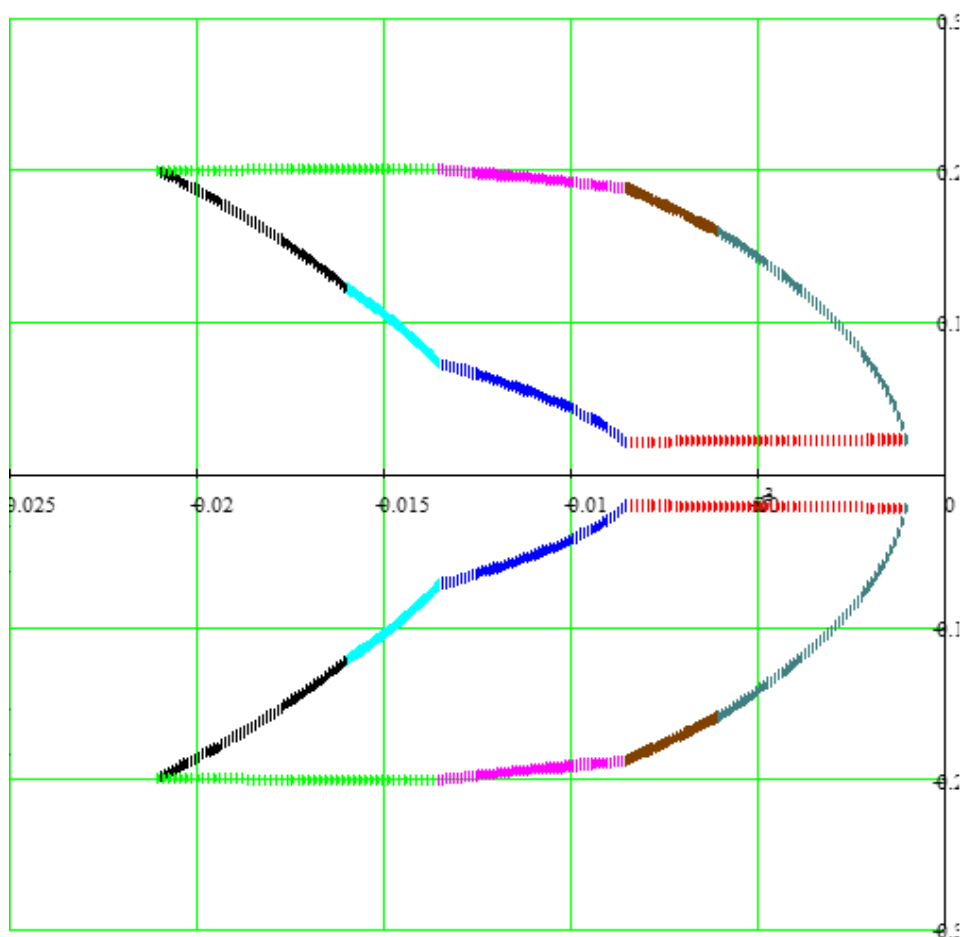


Рисунок 20 – Корневой годограф

Далее разработаем метод для определения корневых оценок качества ИС (приложение Б). Используем ПП MathCAD для написания алгоритма.

Заданы интервалы варьирования параметров $[0;50]$. Пусть 0 – левая граница, а 50 – правая граница. Пока разность левой границы с правой будет больше заданной точности $\epsilon=10^{-5}$, будет выполняться цикл:

1. Находим корни (при помощи функции `polyroots`) с учётом точности и записываем в переменную R_1 . Для минимальных a_1, a_2, a_3 ; Действительные составляющие корня записываем в переменную $h1$, а мнимые в $\sigma1$.
2. Затем также находим корни и записываем уже в R_2 . Действительные и мнимые составляющие запишем $h1$ и $\sigma1$.
3. Далее производится сравнение $\sigma1$ и $\sigma2$, для того чтобы определить максимальную колебательность.

В данном случае нахождение корневых оценок качества близко к методу

половинного деления. То есть, имеется середина интервала $\frac{a+\bar{a}}{2}$ на отображении ребра, а также к этой середине добавляется небольшое приращение. Если угол между мнимой осью и касательной, проведённой к этой точке (середина плюс приращение) меньше, чем угол между мнимой осью и касательной к середине, то берётся в рассмотрение отрезок, начиная от середины и до конца интервала. Если иначе, то рассматривается другой отрезок. Продолжается до тех пор пока не будут найдены наилучшие режимы работы, а именно максимальная колебательность и минимальная степень устойчивости.

Для определения с требуемой точностью ε ранее использовался метод разбиения ребра на отрезки длиной ε , что значительно увеличивало время определения робастных показателей качества. В предложенном мною методе количество точек, находящихся на ребре, существенно сокращено.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1. Организация и планирование работ

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является **сетевой**, либо **линейный график** реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика. Для его построения составим перечень работ и соответствие работ своим исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 1.

Таблица 1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подготовительный этап		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 80% И – 80%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 100%
Изучение предметной области	И	И – 100%

Синтез регулятора аperiodической степени устойчивости		
Расчет модели, приведение полученных результатов	НР, И	НР – 30% И – 100%
Оформление методики синтеза регулятора	НР, И	НР – 10% И – 100%
Экономическое обоснование		
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	И – 100%
Анализ опасных и вредных производственных факторов		
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	И – 100%
Документирование		
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР – 10% И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 100% И – 100%

4.2. Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется вероятностный метод – метод двух оценок t_{min} и t_{max} .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (1.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.; t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 5.1 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (1.2)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.; $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$); $K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (1.3)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях; $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (1.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$); $T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$); $T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 2 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Таблица 2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	И	НР	И
Подготовительный этап								
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	2	1,4	1,68	-	2,02	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	4	6	4,8	2,88	5,76	3,47	6,93
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,4	1,68	1,68	2,02	2,02
Изучение предметной области	И	7	10	8,2	-	9,84	-	11,85
Методы корневого анализа систем с интервальными параметрами								
Расчет модели, приведение полученных результатов	И	14	20	16,4	1,39	19,68	1,67	23,69
Оформление методов анализа	И	5	7	5,8	-	6,96	-	8,39
Экономическое обоснование								
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	3	5	3,8	-	4,56	-	5,49
Анализ опасных и вредных производственных факторов								

Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	1	2	1,4	-	1,68	-	2,02
Документирование								
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	5	3,8	–	4,56	-	5,49
Оформление графического материала	И	3	5	3,8	–	4,56	-	5,49
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,4	1,68	1,68	2,02	2,02
Всего:				52,2	9,31	60,96	11,2	73,39

4.2.1. Расчет накопления готовности работ

Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов выполнена работа на каждом этапе. Данная величина вычисляется по формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}, \quad (5.5)$$

где $TP_{общ.}$ – общая трудоемкость проекта;

TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, $m = 2$.

Результаты вычислений отражены в таблице 6.

Таблица 6 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2,03	2,03
Составление и утверждение ТЗ	10,47	12,5
Разработка календарного плана	4,07	16,57
Изучение предметной области	12,93	29,5
Расчет модели, приведение полученных результатов	25,67	55,17
Оформление методики синтеза регулятора	15,87	71,04
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	6,13	77,17

Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	4,53	81,7
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	7,7	89,4
Оформление графического материала	5,53	94,93
Подведение итогов	5,07	100

Таблица 7 – Линейный график работ.

Этап	Н	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	,02		■										
2	,47	,93	■	■									
3	,02	,02		■									
4		1,85		■	■								
5	,67	3,69			■	■	■	■					
6		,39						■	■				
7		,49							■	■			
8	-	2,02									■		
9	-	5,49									■	■	
10	-	5,49										■	■
11	2,0 2	2,02										■	■

НР – ■ И – ■

4.3. Расчет сметы затрат на создание макета КУ

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- работы, выполняемые сторонними организациями;
- прочие расходы.

4.3.1. Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	150	1 уп.	150
Ручка шариковая	10	2 шт.	20
Карандаш	10	1 шт.	10
Оплетка для расчетно-пояснительной записки	40	1 шт.	40
Итого:			220

Пусть ТЗР составляет 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{мат}} = 220 \cdot 1,05 = 231 \text{ рубль.}$$

4.3.2. Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/24,83 \quad (5.6)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 9. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце 24,83 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 2. Также был принят во внимание учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы $K_{\text{ДЗП}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$.

Таблица 9 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	9	1,699	14327,21
И	7 915	318,77	73	1,699	39536,09

Итого:					53863,3
---------------	--	--	--	--	----------------

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$C_{\text{осн}} = 53863,3 \text{ руб.}$$

4.3.3. Расчет отчислений от заработной платы

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}}, \quad (1.9)$$

где $K_{\text{соц}}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 53863,3 = 16158,99 \text{ руб}$$

4.3.4. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования, а также затраты на электроэнергию, потраченную на освещение. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (1.10)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ ЦЭ = 5,257 руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 4 для инженера ($T_{рд}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{рд} \cdot K_t,$$

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_C, \quad (1.11)$$

где $P_{ном}$ – установленная мощность оборудования, кВт; K_C – коэффициент спроса, зависящий от количества, загрузки групп электроприемников.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\Sigma_{об}$, руб.
Персональный компьютер	102	0,3	160,86
Струйный принтер	1	0,1	0,53
Итого:			161,39

4.3.5. Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB}}{F_D} \cdot t_{рф} \cdot n, \quad (1.12)$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 25\%$; C_{OB} – цена оборудования, $C_{OB} = 45000$ руб.; F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 2384$ часа; $t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, $t_{рф} = 102$ часа; n – число задействованных ПЭВМ, $n = 1$.

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 45000 \cdot 1 \cdot 102}{2384} = 481,33 \text{ руб.}$$

Для принтера $C_{OB} = 12000$ руб., его $F_D = 500$ час., $H_A = 50\%$, тогда его амортизация составит:

$$C_{AM} = \frac{0,5 \cdot 12000 \cdot 1}{500} = 36 \text{ руб.}$$

Итого $C_{AM} = 481,33 \text{ руб} + 36 \text{ руб.} = 517,33 \text{ руб.}$

4.3.6. Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях. Их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов

$$C_{проч.} = (C_{mat} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам}) \cdot 0,1 \quad (12)$$

Подставим значения и вычислим:

$$C_{проч.} = (231 + 53863,3 + 16158,99 + 161,39 + 517,33) \cdot 0,1 = 7093,2 \text{ руб.}$$

4.3.7. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта.

Таблица 11 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	231
Основная заработная плата	$C_{\text{ОСН}}$	53863,3
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	16158,99
Расходы на электроэнергию	Э	161,39
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	517,33
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{НР}}$	–
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	7093,2
Итого:		78025,21

Таким образом, расходы на разработку составили $C = 78025,21$ руб.

4.3.8. Прибыль

Примем прибыль в размере 5 - 20 % от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 15605,04 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

4.3.9. НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$(78025,21 + 15605,04) * 0,18 = 16853,45 \text{ руб.}$$

4.3.10. Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 78025,21 + 15605,04 + 16853,45 = 110483,7 \text{ руб}$$

4.4. Оценка экономической эффективности проекта

В рамках работы не представляется возможным оценить экономическую эффективность проекта, потому что для этого необходимо проводить полноценное исследование.

Результатом выполнения работы является рассмотрение методов корневого анализа систем с интервальными параметрами.

Значимость данной работы состоит в том, что на ее примере можно узнать, как анализировать прямые показатели качества, а также анализ вхождения корней аффинной неопределенностей внутрь заданной области.

Экономический эффект характеризуется повышением качества регулирования систем автоматического управления, с переходным процессом заданной длительности без перерегулирования.

4.4.1. Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (7.14)$$

где $K_{НТУ}$ – коэффициент научно-технического уровня; R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта; n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 12 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	R_i
Уровень новизны	Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований	0,4
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,1
Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,5

Таблица 13 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 14 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 15 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 16.

Баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{нту}} = 0,4*4 + 0,1*6 + 0,5*10 = 1,6 + 0,1 + 5 = 7,2$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 17, проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Таблица 16 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Обоснование оценки признаков НИОКР приводится в таблице 18.

Таблица 17 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относительно новая	3	Данный метод объединяет опыт предыдущих разработок в этом направлении, учитывает их недостатки и представляет более выгодный алгоритм синтеза систем автоматического управления различной степени апериодической устойчивости.
Теоретический уровень	0,1	Разработка способа (алгоритма)	6	Следуя изложенному в методе алгоритму возможен синтез систем автоматического управления различной степени апериодической устойчивости без особых экономических затрат.
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Возможность реализации в кратчайшие сроки

5 СОЦИАЛЬНЫЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1.Производственная безопасность

В настоящей работе рассмотрены методы корневого анализа систем с интервальными параметрами. Объектом исследования является интервальная система автоматического управления. Важным местом в теории управления является проблема робастной устойчивости. Многие САУ содержат интервально-неопределенные параметры. Неопределенность в том, что изменяются параметры в процессе работы систем по заранее неизвестным законам, но известны диапазоны вероятных значений постоянных параметров или пределы изменяющихся параметров. В данном случае имеет место говорить о параметрической интервальной неопределенности. Важным местом в теории управления является проблема робастной устойчивости. Многие САУ содержат интервально-неопределенные параметры. Неопределенность в том, что изменяются параметры в процессе работы систем по заранее неизвестным законам, но известны диапазоны вероятных значений постоянных параметров или пределы изменяющихся параметров. В данном случае имеет место говорить о параметрической интервальной неопределенности.

В данной главе будет разработан комплекс мероприятий, который позволит свести к минимуму или ликвидировать негативные влияния факторов, возникающие при работе с компьютером.

Отрицательное влияние компьютера на человека является комплексным, во время работы за компьютером, при исследовании методов корневого анализа систем с интервальными параметрами, на организм влияет целый ряд негативных факторов, а именно:

Таблица 18 – Факторы и их источники

Источник фактора	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Персональный компьютер	1. Отклонение параметров микроклимата; 2. Недостаточная освещённость рабочего места; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Повышенная напряженность магнитного поля.	Электрический ток	ГОСТ 12.0.003-74; СанПиН 2.2.4-548-96 [2]; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [3]; ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [4]; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [1].

Далее более подробно рассмотрим данные опасные и вредные факторы.

5.1.1. Отклонения параметров микроклимата

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться требования, приведенные в таблице 1 в соответствии с [29].

Таблица 19 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений при исследовании методов корневого анализа систем с интервальными параметрами.

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

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

Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

5.1.2. Недостаточная освещенность рабочего места

Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники относится к III разряду зрительной работы, имеют следующие недостатки:

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

Помещение с ПК имеет естественное и искусственное освещение.

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%. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [30].

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, 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.

При недостатке на рабочем месте естественного освещения, можно выполнить следующие мероприятия:

- в случае наличия в помещении зон с достаточным и недостаточным естественным освещением изменение расположения рабочих мест с их перемещением в зону с достаточным естественным освещением;
- анализ степени загрязнения стекол в светопроемах, их чистка и последующие контрольные измерения КЕО;
- установка более мощных ламп в светильник;
- установка дополнительного количества светильников;
- установка дополнительного светильника для местного освещения рабочей поверхности;
- косметический ремонт помещения с использованием светлых отделочных материалов и последующие контрольные измерения КЕО.

Мероприятия по обеспечению нормативных требований к показателю ослеплённости (прямой блескости):

- увеличением высоты установки светильников;
- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами;

- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами;
- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами.

5.1.3. Повышенный уровень шума

Источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства, а также серверные комнаты. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [32] эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА. Мероприятия по защите от шума:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дБ;
- экранирование рабочего места, путем постановкой перегородок, диафрагм;

Защиту от шума следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 [33], а звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» [33].

5.1.4. Повышенный уровень напряжённости магнитного поля

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человека. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы),

они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье человека.

Предельно допустимые значения излучений от ЭВМ в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [29] приведены в таблице 3.

Таблица 20 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

На расстоянии 5-10 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 140 В/м по электрической составляющей, что значительно превышает допустимые значения.

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

5.2. Электрический ток

На рабочем месте из всего оборудования металлическим является лишь корпус системного блока компьютера, но здесь используются системные блоки, отвечающие стандарту фирмы IBM, в которых кроме рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания.

Электробезопасность обеспечивается в соответствии с ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [37]. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;

- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека.

Электробезопасность в помещении лаборатории должна обеспечиваться техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции;
- нерегламентированное использование электрических приборов;
- отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера, приборов корпус может оказаться под током, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого обеспечивается подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле.

Так как все токоведущие части ЭВМ и других используемых приборов изолированы, то случайное прикосновение к токоведущим частям исключено. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяется защитное заземление.

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно ПУЭ для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил

безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе. При проведении незапланированного и планового ремонта вычислительной или любой другой техники выполняются следующие действия:

- отключение приборов от сети;
- проверка отсутствия напряжения.

После выполнения этих действий проводится ремонт неисправного оборудования. Если ремонт проводится на токоведущих частях, находящихся под напряжением, то выполнение работы проводится не менее чем двумя лицами с применением электрозащитных средств.

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, 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, их 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 [38]. Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов существуют

специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию подлежат захоронению на полигонах. Предельно допустимые концентрации токсичных веществ (ПДКп, мг/кг) должны быть соблюдены в соответствии с [38].

5.4.Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут
- привести к короткому замыканию или пробоем 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.

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.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности и неисправные электроприборы и не использовать неисправные электроприборы.

Обогревание помещения открытыми электронагревательными приборами могут привести к пожару, т.к. в помещении находятся бумажные документы и справочная литература. Следовательно, использование открытого нагревательного прибора неприемлемо.

В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

В летний период во время грозы возможно попадание молнии вследствие чего возможен пожар. Во избежание этого рекомендуется установить на крыше здания молниеотвод.

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 огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

5.5. Организационные вопросы обеспечения безопасности

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

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 [39] конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия:

- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;
- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения;
- необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач;
- уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

Главными элементами рабочего места являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз. Также 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.

По условиям работы рабочее место относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя. Рабочее место должно занимать площадь не менее 6 м, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека.

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)°.

5.6. Правовые вопросы обеспечения безопасности

При анализе систем с интервальными параметрами никаких специальных требований трудового законодательства не предусмотрено. В организации должна быть сформирована комиссия по чрезвычайным ситуациям (КЧС). В ряде случаев при отсутствии КЧС предусмотрено возложение координирующих функций на руководителя организации согласно [40]. Основными задачами объектовой КЧС являются в соответствии с [40]:

- руководство разработкой и осуществлением мероприятий по предупреждению ЧС, повышению надежности работы объекта;
- организация работ по созданию на потенциально опасном объекте локальной системы оповещения, поддержание ее в постоянной готовности;
- обеспечение готовности органов управления, сил и средств к действиям при чрезвычайных ситуациях, руководство их ликвидацией и эвакуацией персонала объекта;
- руководство созданием и использованием резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- организация подготовки руководящего состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были изучены и проанализированы методы корневого анализа систем с интервальными параметрами, а также основные обозначения и проанализированы свойства отображения параметрического многогранника ИХП на корневую плоскость при таких неопределённостях, как интервальная и аффинная.

При этих же видах неопределённостей определили условия принадлежности рёбер ИХП граничному рёберному маршруту, а также методики нахождения граничного рёберного маршрута. Разработан алгоритм рёберного анализа для определения робастных показателей качества, который существенно ускоряет время их поиска. Для определения робастного качества системы, с требуемой точностью ε , ранее использовался метод разбиения ребра на отрезки длиной ε , что значительно увеличивало время определения робастных показателей качества. В предложенном мною методе количество точек, находящихся на ребре, существенно сокращено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Ю.М. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы). Анализ с использованием интервальных характеристических полиномов / Ю.М. Гусев, В.Н. Ефанов, В.Г. Крымский // Техн. кибернетика. 1991. №1. - С. 3-30.
2. Харитонов В.Л. О выпуклых направлениях для устойчивых полиномов / В.Л. Харитонов, Д. Хинричсен // АиТ. 1997. №3. – с.192.
3. Харитонов В.Л. Задача распределения корней характеристического полинома автономной системы / Харитонов В.Л. // АиТ. 1981. №5. – с. 53-57.
4. Римский Г. В. Корневые методы исследования интервальных систем / Г.В. Римский - Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси. 1999. - 186с.
5. Римский Г. В. Корневой метод исследования условий устойчивости линейных интервальных динамических систем / Римский Г.В., Мазуренко Е.Г. // Вести НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 1996. №2. – с.61-64.
6. Римский Г. В. Корневой метод решения задач устойчивости интервальных систем / Римский Г.В. // Вести НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 1994. №4. – с.80-85.
7. Римский Г. В. Основы общей теории корневых траекторий систем автоматического управления / Римский Г. В. – Минск: Наука и техника, 1972. – 328с.
8. Суходоев М.С. Анализ и синтез робастных систем автоматического управления в среде Matlab // М.С. Суходоев, С.А. Гайворонский, С.В. Замятин // Известия Томского политехнического университета, 2008. - т.312 - № 5. - С. 61-65.
9. Поляк Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков - М.: Наука, 2002. - 303 с.
10. Суходоев М.С. Условия робастной устойчивости полинома с аффинной неопределенностью. / М.С. Суходоев, С. А. Гайворонский // Современные

техника и технологии: Труды XI Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных. В 2 т. - Т. 2 - г. Томск, ТПУ, 28 марта - 1 апреля 2005 г.

11. Бесекерский В.А. Робастные системы автоматического управления / В.А. Бесекерский, А.В. Небывалов – М.: Наука, 1983. – 240 с.
12. Бендриков Г.А. Траектории корней линейных автоматических систем / Г.А. Бендриков, К.Ф. Теодорчик – М.: Наука, 1964. – 162 с.
13. Хлебалин Н.А. Построение интервальных полиномов с заданной областью расположения корней / Хлебалин Н.А. // Аналитические методы синтеза регуляторов. – Саратов: Изд. Саратовского политехнического ин-та. 1982. – с.92-98.
14. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического уравнения / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов – СПб.: Профессия, 203 – 752 с.
15. Вадутов О.С. Определение границ областей локализации нулей и полюсов системы с интервальными параметрами / О.С. Вадутов, С.А. Гайворонский // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, №1. – с. 64-68.
16. Воронов В.С. Показатели устойчивости и качества робастных систем управления / В.С. Воронов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1995. – №6. – с. 49-54.
17. Гайворонский С.А. Анализ локализации корней интервального полинома в заданном секторе / С.А. Гайворонский, С.В. Замятин // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, №4. – с. 14-18.
18. Гайворонский С.А. Анализ региональной робастной устойчивости системы методом интервального корневого годографа / С.А. Гайворонский, О.С. Вадутов, С.В. Новокшенов // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309, №7. – с. 6-9.
19. Гайворонский С.А. Определение рёберного маршрута для анализа робастной

- секторной устойчивости интервального полинома / С.А. Гайворонский // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2005. – №5. – с.11-15.
20. Замятин С.В. Размещение областей локализации доминирующих полюсов интервальной системы автоматического управления в заданном усечённом секторе / С.В. Замятин, М.С. Суходоев, С.А. Гайворонский // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Том 311.№5. – с. 5-9.
21. Жабко А.П. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейного семейства полиномов / Жабко А.П., Харитонов В.Л. // АиТ. 1994. №10. – с.125-134.
22. Неймарк Ю.И. Область робастной устойчивости и робастность по нелинейным параметрам / Неймарк Ю.И. // ДАН. 1992. Т. 325, №3. – с.438-440.
23. Неймарк Ю.И. Робастная устойчивость линейных систем / Неймарк Ю.И. // ДАН. 1991. Т. 319, №3. – с.578-580.
24. Ackerman J. Parameter space design of robust control systems / Ackerman J. // IEEE Trans. On Autom. Control. 1980. Vol. 25. N 6. – P. 1058-1072.
25. Barlett A.C. Root location of an entire polytope of polynomials: it suffices to check the edges / Barlett A.C., Hollot C.V., Lin H. // Math. Contr. Signals. Syst., 1987, Vol. 1, №1. – P. 61-71.
26. Rimsky G.V. Root locus methods for robust control systems quality and stability investigations / Rimsky G.V., Nesenchuk A.A. // Proceedings IFAC 13th Triennial World Congress. – San Francisco, USA. 1996. – P. 469-474.
27. Zamyatin S.V. The robust sector stability analysis of an interval polynomial / Zamyatin S.V., Gayvoronskiy S.A. // 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics. – Harbin, China, 2005. – P. 112-115.
28. Barmish B.R. The robust root locus / Barmish B.R., Tempo R. // Automatica, 1990. Vol. 26, №2. – P. 283-292.
29. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 - 03. Санитарно — эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно -

- вычислительным машинам и организации работы»;
30. СанПиН 2.2.4-548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению общественных зданий»;
32. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
33. СП 23-103-2003 Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий;
34. СанПиН 2.2.2. 542-96. Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;
35. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
36. 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.;
37. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;
38. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. - Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/okrsred>. - Загл. с экрана (дата обращения: 25.03.16);
39. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. - Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/okrsred>. - Загл. с экрана (дата обращения: 25.03.16);

40. В.М.Нагорный, Г.М.Федоров. Организация работы комиссии по чрезвычайным ситуациям объекта / Под ред. В.В. Шевченко. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://gochs.info/download/Organizacija-raboty-KChS.pdf>. - (дата обращения: 25.03.16).

Приложение А

ROOT ANALYSIS SYSTEMS WITH INTERVAL PARAMETERS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Данжаев Солбон Тумэнович		

Консультант кафедры АиКС:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ефремов А.А.			

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Логинова А.В.			

1 Display of parametric polyhedra

1.1. Basic ideas and notation display of parametric polyhedron

To study the robust stability of systems with the interval uncertainty, we use information from the works of V.L. Kharitonov. In a system with interval uncertainty, characteristic polynomial is of the form:

$$P(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i, \quad \underline{a}_i \leq a_i \leq \overline{a}_i,$$

Then we use the four polynomials, that composed of the extreme values of the coefficients. Alternating in this way - the lower two values - the top two:

$$P_1(s) = \underline{a}_0 + \underline{a}_1 s + \overline{a}_2 s^2 + \overline{a}_3 s^3 + \dots;$$

$$P_2(s) = \overline{a}_0 + \underline{a}_1 s + \underline{a}_2 s^2 + \overline{a}_3 s^3 + \dots;$$

$$P_3(s) = \overline{a}_0 + \overline{a}_1 s + \underline{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s^3 + \dots;$$

$$P_4(s) = \underline{a}_0 + \overline{a}_1 s + \overline{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s^3 + \dots$$

These polynomials are called - Kharitonov polynomials [5]. Statement of the theorem given earlier. We give Kharitonov theorem: for the robust stability of interval parameters is necessary and sufficient to Kharitonov polynomials are stable.

Let m interval polynomial coefficients, these coefficients form a parametric polyhedron, which is in the form of a rectangular giperparallelepiped containing 2^m vertices and 2^{m-1} edges. An example of a polyhedron of the polynomial for the system with interval coefficients 3 is shown in Figure 6.

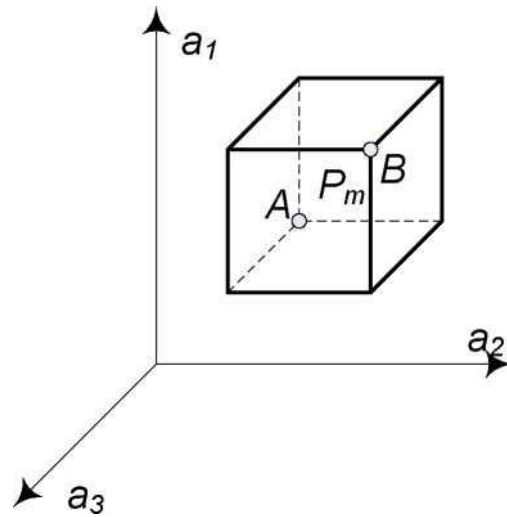


Figure 6 - Parametric polyhedron P_m

P_m points have coordinates relative to the top of V_q , $q = \overline{1, 2^m}$, which is given by:

$$a_i = a_i^q + \Delta a_i, i = \overline{1, n},$$

$$(\underline{a}_i - a_i^q) \leq \Delta a_i \leq (\overline{a}_i - a_i^q),$$

where Δa_i - is the increment of the i -th interval parameter, a_i^q - this is the value at the top of V_q . $M(s)$ and $N(s)$ - the two neighboring polynomial, which are defined by two adjacent vertices connected by an edge. Next, we enter what costal polynomial. It is a one-parameter family of the form $\gamma M(s) + (1 - \gamma)N(s)$, где $0 \leq \gamma \leq 1$.

Let there be given parametric polytope P_m . Then, for the robust stability of polynomials, which are defined by the polyhedron P_m necessary and sufficient stability of its costal polynomials. This theorem is true in this case is called a rib. It allows you to check robust stability if the number m of undetermined coefficients is small.

To verify the robust stability sufficient to verify only the edges, the images of which are the boundaries of the localization of the roots of the polynomial.

Display V_q polyhedron vertices denoted by U_q . Figure 7 shows an image of the vertex P_m on the complex roots of the plane in which the complex conjugate roots are placed in the two areas, which are limited to images P_m ribs.

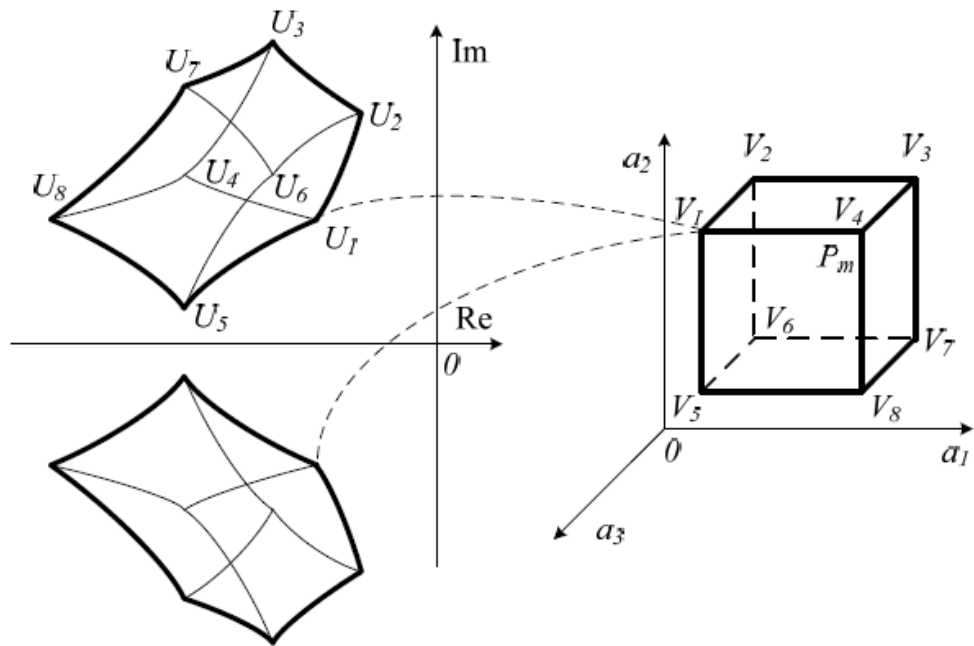


Figure 7 - Display the tops of PM

Let the ribs after the interval polynomial R^q , $i=1, \dots, m$, where m - number of interval coefficients, q - is the ordinal number of the vertex. Let RS_i^q images of the ribs and rib will call them branches. Ribs P_m , their images are shown in Figure 8.

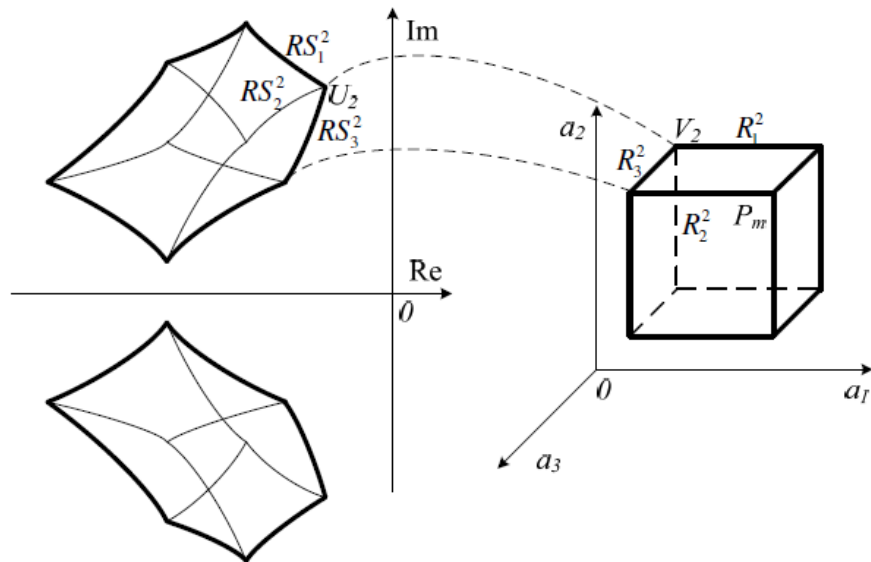


Figure 8 - Display the ribs of the PM

Every facet of the polyhedron P_m , by definition, is a rectangle in the plane change interval of two coefficients of a single vertex. Facets of interval polynomial is

denoted by $i=\overline{1, m}, j=\overline{1, m}, i \neq j, q$ - is the ordinal number of the vertex. Images of faces are designated as GS_{ij}^q (Figure 9)

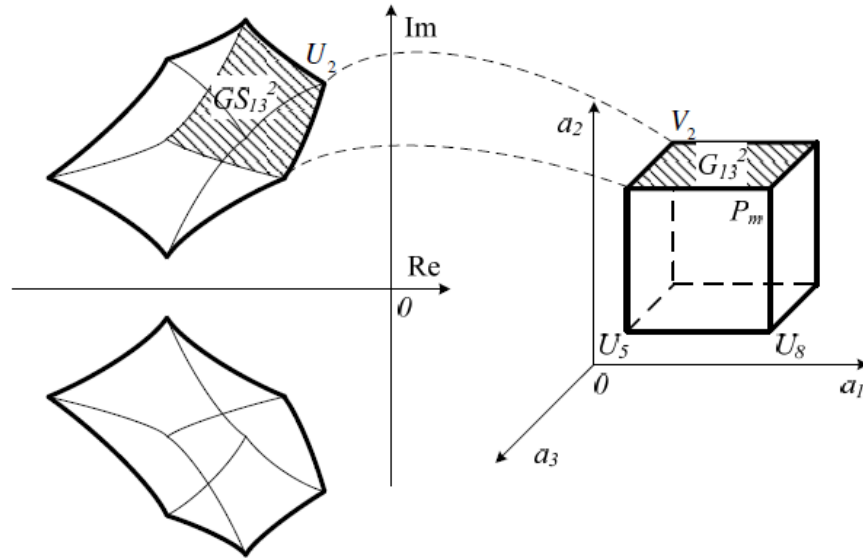


Figure 9 - Display the faces of the PM

Let φ_j a corner out of the root node for the j parameter U_q (Figure 10). The vectors that define exit angles costal branches - E_j .

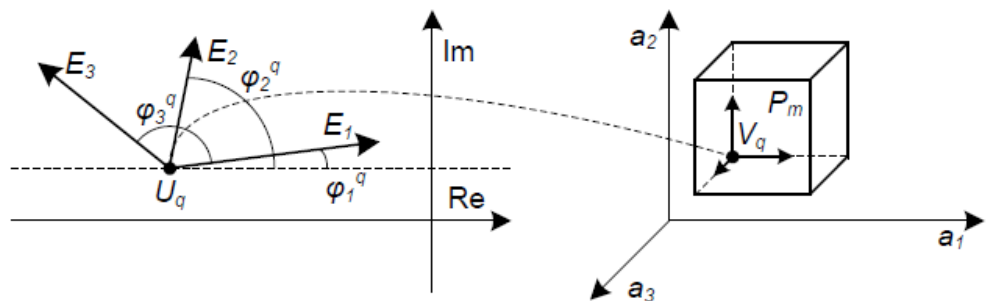


Figure 10 - Angles outputs rib branches

1.2. Parametric polyhedron. Properties display at the interval of uncertainty

To display $\varphi: P_m \rightarrow S$ must have a relation that links the coordinates of points P_m with n roots, where S - the is the set of roots of the polynomial (1). With this ratio

for the interval of uncertainty is the alignment that is obtained by substituting in (1), the expression (3):

$$P(s) + \sum_{i=0}^n \Delta a_i s^i$$

Then we write as shown rib R_i^q in the plane of the roots:

$$P(s) + \Delta a_i s^i = 0$$

Let this equation is the characteristic equation of the system with the unit feedback. Therefore the transfer function of the open-loop system for the edge is:

$$W_i^q(\Delta a_i, s) = \frac{\Delta a_i s^i}{P(s)}$$

After analyzing the equation (6) and (7) on the side of the root locus theory, it is clear that a change in Δa_i , roots move from the poles (7) to the roots (6) at the end of R_i^q . They also form a moiety of the branches of the root locus [24].

To display $\varphi: P_m \rightarrow S$ valid expression $(R_i^q) = RS_i^q$, $\varphi(V_q) = U_q$. Therefore, by Theorem costal region of localization of the roots is limited edged branches RS_i^q interval of one-parameter root locus. This conclusion S can be regarded as an interval multivariable root locus.

Next, write the equation of the plane of the display faces G_{ij}^q shot at the interval limits:

$$a_i s^i + a_j s^j + P(s) = 0$$

Assume that one of the roots of the equation (8) in the form $s_r = \alpha + j\beta, r \in \overline{1, n}$. Then substitute in (8) coordinates s_r and select real and imaginary parts. We obtain a system of linear equations with two variables:

$$\begin{cases} a_i \operatorname{Re}(\alpha + j\beta)^i + a_j \operatorname{Re}(\alpha + j\beta)^j + \\ \operatorname{Re} \left[\sum_k a_k^q (\alpha + j\beta)^k + \sum_p a_p (\alpha + j\beta)^p \right] = 0 \\ a_i \operatorname{Im}(\alpha + j\beta)^i + a_j \operatorname{Im}(\alpha + j\beta)^j + \\ \operatorname{Im} \left[\sum_k a_k^q (\alpha + j\beta)^k + \sum_p a_p (\alpha + j\beta)^p \right] = 0 \end{cases}$$

For the system of equations are typical cases described above, such as:

1. The equations are independent, as well as the system has one solution $a_i = a_i^*$, $a_j = a_j^*$. Therefore, $\varphi^{-1}(s_r) = P^*$, where $P^* = (a_i^*, a_j^*)$, moreover $P^* \in G_{ij}^q$.
2. The difference equations in a constant factor. Therefore, there is a special line t to $\varphi^{-1}(s_r) = P^*$ plane G_{ij}^q .

Figure 11 shows a particular line, which is described by any of the system equations (9), with $\varphi^{-1}(s_r) = t$ [24].

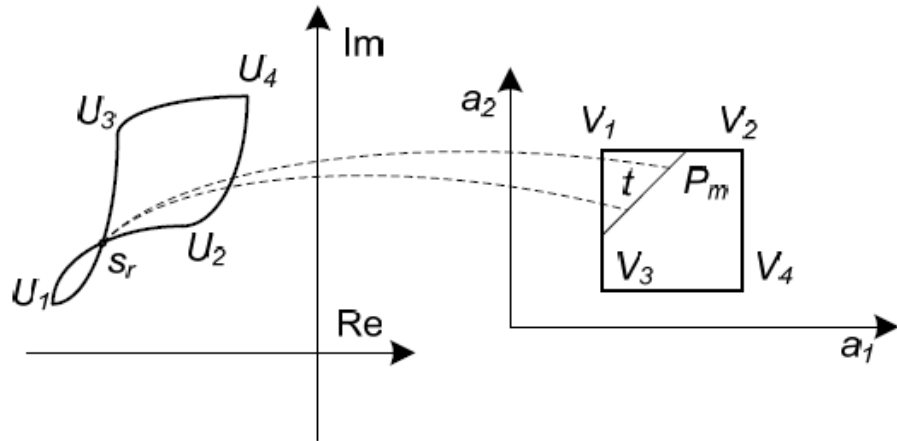


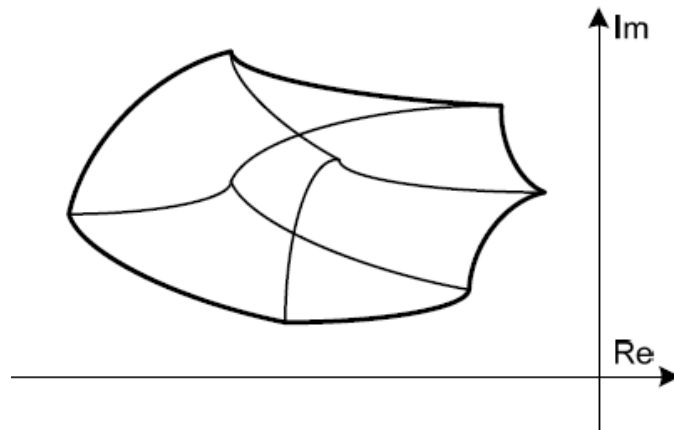
Figure 11 - Showing the special straight

Next, consider the localization of the border region of the root, provided that $\varphi^{-1}(s_r) = G_{ij}^q$ (10).

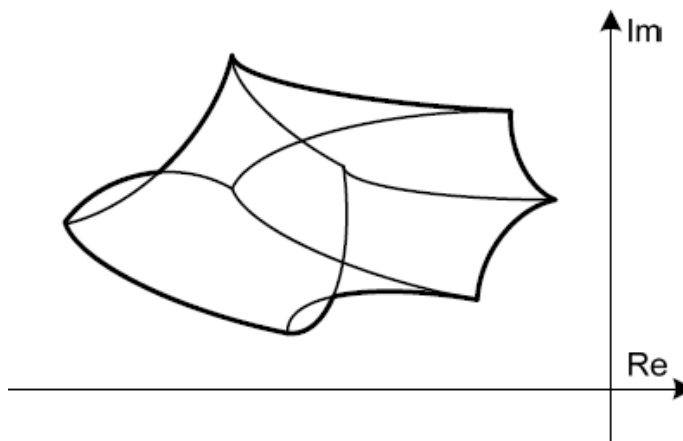
Suppose, $P^* \in G_{ij}^q$. RS_i^q - the only branch that passes through S_R , because the coordinates of P^* is the only solution of the system (9). Therefore, under the condition (10) are non-intersecting boundaries s_r images ribs G_{ij}^q .

Enter RS_i^q in the localization of the field boundaries of the roots of the equation (1) and fully and partially, thus interfering in the U^* . We give the name of this costal branches - the boundary and let GRS_i^q , and their archetypes we call the boundary edges and denoted by GR_i^q . Images of vertices that belong GR_i^q , we call the boundary nodes of the root GR_i^q [26].

Below we present a parametric system displayed a polyhedron which has three interval parameter on the complex roots of the plane.



a)



b)

Figure 12 - The formation of the boundaries of the localization of the roots of characteristic polynomial

Area s_r , whose border is the disjoint images ribs P_m , is shown in Figure 12a. And in the second picture, 12b, this region is bounded edges overlapping images P_m .

For $\varphi: P_m \rightarrow S$, there is one set of GR_i^q , which is the desired boundary costal route. If $U^* \in s_r$, the GRS_i^q , GRS may be part of the border s_r and fully and partially, but the latter is the case - the result of the intersection of U^* nodes. It is necessary to take into account the presence of U^* in s_r areas when determining the set GR_i^q [27].

The necessary condition $U^* \in s_r$ a direct presence t in the planes P_m . Direct t be in at least one plane P_m faces having one common vertex, it will be a necessary condition $U^* \in s_r$. The number of such planes C_m^2 .

The condition for the existence of straight in space t a_i coefficients and a_j and its display in the $U^*(\alpha, j\beta)$ - is a linear relationship of equations (9). The existence of this dependence can be only if there are such values of α and β (11):

$$\frac{Re((\alpha + j\beta)^i)}{Im((\alpha + j\beta)^i)} = \frac{Re((\alpha + j\beta)^j)}{Im((\alpha + j\beta)^j)} =$$

$$\frac{Re[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p)]}{Im[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p)]}$$

These α and β are solutions derived from systems (11) nonlinear equation (12):

$$Re((\alpha + j\beta)^i) Im((\alpha + j\beta)^i) - Re((\alpha + j\beta)^j) Im((\alpha + j\beta)^j) = 0$$

$$Re \left[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p) \right] -$$

$$Im \left[\sum_k a_k^q ((\alpha + j\beta)^k) + \sum_p a_p ((\alpha + j\beta)^p) \right] = 0$$

s_r location in the left half-plane for sustainable polynomial. Where components U^* will have the coordinates $\alpha < 0$ and $\beta \neq 0$.

Units U^* the intersection of line branches will exist in the maps of the planes of faces, which turned out coefficients of the polynomial (1) with the indices that satisfy the following condition:

$$|i - j| \geq 3 \quad (13)$$

The necessary condition for the $U^* \in s_r$ - the presence of a pair of interval coefficients with indices that satisfy the condition (13) in equation (1).

1.3. Parametric polyhedron. The display properties with affinity uncertainty

Further, the affinity of uncertainty Let us examine the properties of the display. That is, the interval - the real parameters of the system, which are included in the linear characteristic polynomial coefficients. The characteristic polynomial of the system:

$$D(s) = \sum_{i=0}^m (T_i * A_i(s)) + B(s) = 0, \quad \underline{T}_i \leq T_i \leq \overline{T}_i \quad (14)$$

In the case of the display $\varphi: P_m \rightarrow S$ we take the expression:

$$D_q(s) + \sum_{i=0}^k (\Delta T_i * A_i(s)) = 0 \quad (15)$$

where $D_q(s)$ - polynomial in which the values of the parameters interval corresponds to the vertex q parametric polyhedron.

Next, we present the equation the display edges to the complex roots of planes:

$$D_q(s) + \Delta T_i * A_i(s) = 0 \quad (16)$$

Interval of one-parameter root locus formed by changing ΔT_i roots of (16) converge to the zeros from its poles.

We write the equation below the display plane of the face G_{ij}^q on the basis of (14):

$$D_q(s) + \Delta T_i * A_i(s) + \Delta T_j * A_j(s) = 0 \quad (17)$$

There is $s_r = \alpha + j\beta, r \in \overline{1, n}$. Then substitute in (17) s_r and obtain a system of two linear equations in two variables and T_i and T_j :

$$\begin{cases} T_i * Re(A_i(\alpha + j\beta)) + T_j * Re(A_j(\alpha + j\beta)) + Re(D_q(s)) = 0; \\ T_i * Im(A_i(\alpha + j\beta)) + T_j * Im(A_j(\alpha + j\beta)) + Re(D_q(s)) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

For equations above, are typical two cases, such as:

1. The system has a unique solution of the equation are independent, $T_i = T_i^*, T_j = T_j^*$. Therefore, $\varphi^{-1}(s_r) = P^*$, $P^* = (T_i^*, T_j^*)$, so that points P^* in the plane G_{ij}^q .
2. The difference equations a constant factor. It turns out that in G_{ij}^q plane has such a direct t, which can be described by any equation of the system (18), with $\varphi^{-1}(s_r) = t$.

Edged branches are part of the border completely and partially, thus interfering in the U^* , for a polynomial with an affine uncertainty when displaying edges Pm. The condition of U^* [28].

This condition is a linear relationship of equations (9). This dependence will only take place if there are α and β , at which the following equation:

$$\frac{ReA_i(\alpha + j\beta)}{ImA_i(\alpha + j\beta)} = \frac{ReA_j(\alpha + j\beta)}{ImA_j(\alpha + j\beta)} = \frac{Re(D_q(\alpha + j\beta))}{Im(D_q(\alpha + j\beta))} \quad (19)$$

Let us solve the system (19) of the two non-linear equations to check:

$$\begin{cases} Re(A_i(\alpha + j\beta)) * Im(A_j(\alpha + j\beta)) - Re(A_j(\alpha + j\beta)) * Im(A_i(\alpha + j\beta)) = 0; \\ Re(A_j(\alpha + j\beta)) * Im(D_q(\alpha + j\beta)) - Im(A_j(\alpha + j\beta)) * Re(D_q(\alpha + j\beta)) = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Polynomial of odd degree β without constant term are left parts of the systems equations (20). In the face under consideration maps and cross sections parallel Pm no U^* , if the system (20) has no solutions with $\beta \neq 0$. If the solutions of the system (20) not for all the combinations of interval parameters, S_r boundaries consist of disjoint costal branches.