

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Анализ корневого робастного качества систем автоматического управления с аффинной неопределенностью параметров

УДК 004.896:004.827

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Чжай Юаньцзе		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова Н. А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин А. А.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР ИШИТР	Гайворонский С.А.	к.т.н.		

Планируемые результаты освоения ООП

15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств
(Киберфизическая автоматизация технологических процессов и производств)

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции выпускников	
ПК(У)-1	Обладает способностью разрабатывать технические задания на модернизацию и автоматизацию действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний, новые виды продукции, автоматизированные и автоматические технологии ее производства, средства и системы автоматизации, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством;
ПК(У)-2	Обладает способностью проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты и патентоспособности новых проектных решений и определения показателей технического уровня проектируемой продукции, автоматизированных и автоматических технологических процессов и производств, средств их технического и аппаратно-программного обеспечения;

ПК(У)-3	Обладает способностью: составлять описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства, проектировать их архитектурно-программные комплексы;
ПК(У)-4	Обладает способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты автоматизированных и автоматических производств различного технологического и отраслевого назначения, технических средств и систем автоматизации управления, контроля, диагностики и испытаний, систем управления жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизации проектирования, отечественного и зарубежного опыта разработки
ПК(У)-5	Обладает способностью разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования;

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ _____ Гайворонский С. А.
 (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
8ТМ91	Чжай Юаньцзе

Тема работы:

Анализ корневого робастного качества систем автоматического управления с аффинной неопределенностью параметров
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-14/с от 19.02.2021
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Типы неопределенностей систем автоматического управления (САУ) с интервальными параметрами; 2. Методы анализа САУ с аффинной неопределенностью параметров; 3. Теория алгоритмов и архитектуры программных приложений.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теория робастного управления; 2. Устойчивость и различие интервальных многочленов; 3. Алгоритм оптимизации для аффинной неопределенной системы; 4. Программная реализация; 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;

	6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Интерфейс программного исполнения математической модели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, рурсурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н. Гончарова.Н.А.
Социальная ответственность	Доцент ООД ШБИП, к.т.н. Сечин А.А.
Раздел на иностранном языке	Доцент ОИЯ ШБИП, к.п.н. Сидоренко Т. В.

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Чжай Юаньцзе		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – осенний/ весенний семестр 2020/ 2021 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)
27.05.2021	Основная часть	60
16.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
18.05.2021	Социальная ответственность	15
20.05.2021	Обязательное приложение на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Чжай Юаньцзе

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Расчёт стоимости ресурсов НИ осуществляется по методическому указанию соответствующего раздела ВКР. Оклады берутся в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Расходование ресурсов осуществляется в соответствии с установленными нормами НИ ТПУ и ФЗ РФ от 2020 г.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Ставки налогов, дисконтирования и кредитования соответствуют ФЗ РФ от 2020 г.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Проведение предпроектного анализ; разумно спланируйте найм и личное рабочее время каждого участника.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	материалы и покупные изделия; заработная плата; социальный налог; расходы на электроэнергию (без освещения); амортизационные отчисления; командировочные расходы; оплата услуг связи; арендная плата за пользование имуществом; прочие услуги (сторонних организаций); прочие (накладные расходы) расходы.
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчёт интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности для всех видов исполнения НИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Диаграмма FAST 5. Матрица SWOT 6. График проведения и бюджет НИ 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ 8. Потенциальные риски
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.02.2021
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова.Н.А.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Чжай Юаньцзе		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Чжай Юаньцзе

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Анализ корневого робастного качества систем автоматического управления с аффинной неопределенностью параметров	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: Система автоматического контроля неопределенности аффинных параметров.</p> <p>Область применения: Анализ системы автоматического управления</p> <p>Рабочее место: представляет собой офис оборудованный ПК.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя.</p> <p>СНиП 23-05-95 разработан в соответствии с общей системой нормативных документов в строительстве</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений</p> <p>СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.</p> <p>СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона</p> <p>ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.</p>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> - Производственное освещение - Микроклимат рабочего помещения - Производственные шумы - Электромагнитные поля - Психофизиологические факторы
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> - Разумное использование, расход и утилизация компьютеров - области воздействия на атмосферу, гидросферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ возможных причин загорания - Оценка пожарной безопасности помещения - Пожарная профилактика

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Чжай Юаньцзе		

Реферат

Выпускная квалифицированная работа содержит 107 страниц текста, 26 рисунков, 22 таблицы, 2 приложения, 22 литературный источник.

Ключевые слова: автоматические системы управления, аффинная неопределенность, интервальные параметры, реберная теорема, дихотомия, степени устойчивости, колебательности, Python.

Цель работы: анализ корневого робастного качества систем автоматического управления с аффинной неопределенностью параметров.

В данной статье рассматривается система автоматического управления с аффинной неопределенностью и анализируются особенности интервальной неопределенности и аффинной неопределенности. В работе показано, как интервальный характеристический многочлен и его корневое геометрическое место отображаются на комплексной плоскости.

Обсудив все типы неопределенности параметров, установлено, что для обеспечения робастного качества системы управления при интервальной неопределенности требуется только анализ вершин многогранника параметров.

Для анализа робастных корневых показателей качества системы с аффинной неопределенностью используется реберная теорема. Для оптимизации количества вычислений и нахождения результата с заданной точностью в работе предложен алгоритм половинного деления (дихотомии). Указанный алгоритм успешно реализован в программе, написанной на языке Python.

В главах, посвященных финансовому менеджменту, эффективности использования ресурсов и сохранению ресурсов, представлен расчет затрат по проекту, включая заработную плату сотрудников и ресурсы, потребляемые в рамках проекта. Рассчитаны общие финансовые показатели, общие показатели ресурсоэффективности. В разделе социальной ответственности проанализировано рабочее место, определены опасности и вредные факторы, которые могут возникнуть в процессе работы, а также влияние на окружающую среду, а также сформулированы превентивные меры.

Содержание

Введение.....	14
1 Теория робастного управления.....	17
1.1 Теория интервалов и интервальный алгоритм.....	17
1.2 Интервальный характеристический полином.....	19
2 Устойчивость и различение интервальных многочленов.....	22
2.1 Основные понятия и обозначения отображения параметрического многогранника.....	22
2.2 Оценка корневых показателей качества.....	26
2.3 Реберная теорема.....	28
3 Алгоритм оптимизации для аффинной неопределенной системы.....	32
3.1 Одномерная оптимизация.....	33
4 Программная реализация.....	40
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
5.1 Организация и планирование работ.....	46
5.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ.....	48
5.1.2 Расчет накопления готовности проекта.....	52
5.2 Расчет накопления готовности проекта.....	53
5.2.1 Расчет материальных затрат НИР.....	54
5.2.2 Расчет заработной платы.....	56
5.2.3 Расчет затрат на социальный налог.....	57
5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	57
5.2.5 Расчет амортизационных расходов.....	58
5.2.6 Расчет прочих расходов.....	59
5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки.....	59
5.2.8 Прибыль.....	60
5.2.9 НДС.....	60
5.2.10 Цена разработки НИР.....	60
5.3 Оценка экономической эффективности проекта.....	60
5.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР.....	61
6. Социальная ответственность.....	65

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
6.2 Производственная безопасность.	68
6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	68
6.3.1 Производственное освещение	69
6.3.2 Микроклимат рабочего помещения.....	69
6.3.3 Производственные шумы.....	70
6.3.4 Электромагнитные поля.....	71
6.3.5 Психофизиологические факторы	73
6.4 Экологическая безопасность.....	74
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
Заключение	79
Список литература	80
Приложение А	82
Приложение Б.....	98

Введение

Использование механического и электрического оборудования для автоматизации современных технологических процессов требует наибольшего учета функций контролируемого объекта. В процессе работы системы автоматического управления параметры объекта могут изменяться, в том числе контролируемые и переменные параметры. Речь идет о технических объектах, таких как манипуляторы, промышленные роботы, станки с ЧПУ, вес груза крана или длина кабеля, бумагоделательные машины и т. д. ; или некоторые параметры, которые невозможно или нецелесообразно измерить и контролировать (например, окружающая среда, температура воздуха, активность катализатора, хладагент, концентрация вещества в среде и т. д.). Каждый из них может изменяться в определенном диапазоне. Измерять эти параметры невозможно или непрактично, но диапазон изменения известен. Этот тип объекта состоит в том, что параметр интервала изменяется в определенном диапазоне по ранее неизвестным законам [1,2].

Разработчикам САУ с такими объектами необходимо решить задачу анализа устойчивости системы при изменении параметров объекта в известном диапазоне. Если САУ остается устойчивой при любых значениях параметров из заданного диапазона, то можно сказать, что она имеет робастную устойчивость. В этом случае основными показателями робастной устойчивости являются: степень робастной устойчивости и степень робастной колебательности. Первый показатель соответствует минимальной устойчивости САУ при изменении параметров, а второй - максимальной ее колебательности. Система с такими параметрами называется интервальной системой автоматического регулирования (ИС).

В настоящее время для решения проблем неопределенности обычно используются три метода: теория случайных чисел, теория нечетких множеств и интервальный анализ [3]. При использовании теории случайных чисел или теории нечетких множеств для решения проблемы необходимо знать функцию плотности вероятности или функцию принадлежности параметра

неопределенности. На практике эти функции часто трудно определить и часто выбираются искусственно. Поэтому для решения этой задачи предлагается использовать корневой метод определения робастных показателей качества. В случае возникновения проблем можно уменьшить влияние человеческого фактора и повысить надежность результатов анализа. Суть расчета интервальной системы автоматического регулирования заключается в решении линейного уравнения.

Предположим, что линейная ИС состоит из следующей передаточной функции:

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

где $a_i \in [a_{i \min}, a_{i \max}]$, $i \in \overline{1, m}$,

Передаточная функция состоит из двух многочленов, числителя $W_1(s, a)$ и знаменателя $W_2(s, a)$ в зависимости от вектора формирования a параметра интервала интервальный коэффициент может образовывать прямоугольный гиперпараллелепипед с 2^m вершинами.

Интервал параметра a приводит к типу неопределенности его характерных множественных паттернов: его коэффициент может использоваться как интервал как функция интервала:

- интервальная неопределенность;
- аффинная неопределенность;
- полилинейная неопределенность;
- полиномиальная неопределенность.

Ниже приведены четыре типа неопределенности для многочленов. Используйте систему второго порядка для классификации и предоставления примеров характеристических многочленов по типам неопределенности. [1,12]

Интервальная неопределенность – коэффициенты полинома являются интервальными параметрами:

$$a_2 s^2 + a_1 s + a_0, a_i \in [a_{i \min}, a_{i \max}]$$

Аффинная неопределенность – коэффициенты полинома образованы суммой или разностью интервальных параметров:

$$(a_2 + a_1 + a_0)s^2 + (4a_3 + 4a_2 + a_1)s + 5a_2 - 2a_1, \quad a_i \in [a_{i \min}, a_{i \max}]$$

Полилинейная неопределенность – коэффициенты полинома линейно зависят от каждого параметра, если остальные параметры фиксированы:

$$(a_2 a_0 + a_1)s^2 + (4a_2 a_1 + 2a_0)s + 5a_2 a_0 - 2a_1, \quad a_i \in [a_{i \min}, a_{i \max}]$$

Полиномиальная неопределенность – коэффициенты полинома зависят полиномиально хотя бы от одного параметра:

$$(10a_2^2)s^2 + (4a_2 a_1 + 2a_0^2)s + 5a_2 + 2a_1 + a_0, \quad a_i \in [a_{i \min}, a_{i \max}]$$

В работе рассматривается система автоматического управления аффинной неопределенностью с характеристическим полиномиальным интервалом, вводится интервальный алгоритм, отображение интервального характеристического полинома и его корневого множества в комплексной плоскости. Проанализирован метод определения корневых показателей качества САУ.

Реберная теорема используется для анализа корневого индекса качества системы с аффинной неопределенностью. На основе программы python процесс оптимизации нахождения робастных корневых показателей качества САУ реализуется через методику половинного деления (дихотомию). Это значительно ускоряет процесс расчета, повышает точность расчета и сокращает время расчета.

1 Теория робастного управления

Метод параметров, основанный на теории интервалов, является важной областью исследований робастного управления. В случае известных границ изменения параметров, теория интервальной корреляции может быть использована для описания математической модели объектов с неопределенными параметрами. Такие системы обычно называют интервальными системами. Исследования интервальных систем в основном сосредоточены на теории полиномиальной и матричной устойчивости [4]. Кроме того, некоторые ученые предложили алгоритмы, основанные на интервальном анализе, для анализа и синтеза более сложных систем, связанных с интервальными параметрами.

1.1 Теория интервалов и интервальный алгоритм

В процессе системного анализа, если только параметр x распределен в интервале $[x - \Delta x, x + \Delta x]$ и конкретное распределение неизвестно, то параметр может быть выражается в виде числа интервала как $x = [\underline{x}, \bar{x}]$, $\underline{x} = x - \Delta x$ может рассматриваться как нижняя граница переменной x , а $\bar{x} = x + \Delta x$ - верхняя граница x . Из этого видно, что в теории интервального анализа параметр интервала выражается как неизвестная переменная, а диапазон значений переменной — это интервал с заданной верхней и нижней границей, без указания конкретного распределения параметров. Интервальная арифметика необходима для обработки неопределенной информации, таким образом могут быть определены только верхний и нижний пределы неопределенной информации, и никакой другой информации не требуется. Следовательно, метод описания неопределенных параметров с помощью интервальных номера требуют знания диапазона изменения параметров.

Правила работы интервальной арифметики:

В интервальной арифметике неопределенная переменная x должна быть задана в форме интервальных переменных, которые обычно выражаются в одной из следующих двух форм [5]:

1. Форма верхней и нижней границы:

$$x = [\underline{x}, \bar{x}] \quad (1.1)$$

где \underline{x} и \bar{x} – левая и правая границы переменной x

2. Центральная форма:

$$[x] = m([x]) + \left[-\frac{1}{2}w([x]), \frac{1}{2}w([x]) \right] = m([x]) + \frac{1}{2}w([x])[-1,1] \quad (1.2)$$

где $m([x])$ и $w([x])$ – среднее значение и радиус интервальной переменной $[x]$, соответственно.

Когда известная форма 1.2 должна найти форму 1.1, для расчета можно использовать следующую формулу:

$$\underline{x} = m([x]) - \frac{1}{2}w([x]), \bar{x} = m([x]) + \frac{1}{2}w([x])$$

Для интервальных операций с номерами интервалов это часто завершается вычислением пределов интервальных переменных. Например: даны две интервальные переменные $[x] = [\underline{x}, \bar{x}]$, $[y] = [\underline{y}, \bar{y}]$, четыре арифметические операции с интервальными переменными выглядят следующим образом [6]:

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

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

То есть сумма двух интервалов равна сумме верхней и нижней границ этих слагаемых.

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

$$[x] - [y] = [\underline{x} - \bar{y}, \bar{x} + \underline{y}]$$

То есть нижняя граница разности двух интервалов равна разности нижней границы уменьшаемого и верхней границы вычитаемого; верхняя граница разности двух интервалов равна разности верхней границы уменьшаемого и нижней границы вычитаемого.

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

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

То есть нижний предел произведения двух интервалов принимает минимальное значение произведения двух факторов, а верхний предел принимает максимум произведения двух факторов.

Деление интервала $[x]$ и $[y]$ заключается в умножении делителя на интервал, то есть обратную величину делителя:

$$[y]/[x] = [y] \cdot 1/[x]$$

Расчет обратного интервала осуществляется по следующим правилам:

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

1.2 Интервальный характеристический полином

Ядром системы автоматического управления интервальными параметрами являются контролируемые и изменяемые параметры в САУ. Следовательно, такое же описание применимо к робастным системам: пространство состояний, характеристический полином, матричная форма, линейные и нелинейные передаточные функции. Мы можем знать, что коэффициенты передаточной функции робастной системы и коэффициенты ее характеристического полинома определяются интервальным параметром. [7]

Интервальный характеристический полином (ИХП) является знаменателем надежной передаточной функции САУ. Характеристический полином, коэффициенты которого определяются по интервальным параметрам системы управления. По составу интервальных характеристических коэффициентов полинома в интервальных параметрах его можно разделить на

следующие типы неопределенности: интервальная, аффинная или полиномиальная.

Интервальная неопределенность – это тип неопределенности с более простыми операциями.

Например, интервальные полиномы можно выразить следующим образом:

$$P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] \cdot s^i, \quad \underline{a}_i \leq a_i \leq \bar{a}_i, \underline{a}_i > 0$$

Полином аффинной неопределенности – когда есть несколько параметров интервала (сложение или вычитание), которые вместе влияют на коэффициенты полинома.

Например, многопорядковая форма аффинной неопределенности может быть выражена следующим образом:

$$P(s) = \{P(s, q) = \sum_{i=0}^n [a_i(q)] \cdot s^i = P_0 + q_1 \cdot P_1(s) + \dots + q_n \cdot P_n(s)\}$$

$$q \in Q^0, Q^0 = \{q \mid q_i \in [\underline{q}_i, \bar{q}_i], i = 1, \dots, m\}.$$

Есть t интервальных параметров q ; каждый параметр интервала содержится в полиноме первого порядка, а каждый коэффициент полинома состоит из сложения и вычитания нескольких параметров интервала.

Следовательно, легко увидеть, что аффинная неопределенность основана на сложении и вычитании интервального коэффициента на основе интервальной неопределенности, и ее порядок по-прежнему равен единице. Для полилинейной или полилинейной неопределенности разница между параметром интервала и аффинной неопределенностью состоит в том, что параметр интервала появляется в виде произведения, основанного на аффинной неопределенности, и его порядок больше единицы.

В реальных ситуациях наиболее сложной проблемой, с которой мы сталкиваемся, является нелинейная зависимость коэффициентов полинома от интервальных параметров в неопределенных полиномиальных системах. При

анализе проблемы мы можем использовать правило интервальной арифметики, чтобы свести любой тип неопределенности к интервальной неопределенности для расчета в соответствии с составом типа неопределенности, чтобы повысить эффективность вычислений.

Предлагается аффинная арифметика для преодоления недостатков слишком консервативной интервальной арифметики. Поскольку интервал, полученный с помощью интервальных арифметических операций, часто намного превышает фактический диапазон, в литературе [8] предлагается записывать отношения зависимости между различными неопределенными величинами на основе аффинной арифметики. Именно благодаря этой дополнительной информации результаты, полученные с помощью аффинной арифметики, больше. Интервальная арифметика намного компактнее.

Поскольку аффинную неопределенность можно рассматривать как добавление нескольких интервальных неопределенностей, аффинную неопределенность и интервальную неопределенность можно преобразовать друг в друга.

Например, параметр интервала: $[a] = [-1; +1]$, интервальная арифметика: $[a] - [a] = [-2; +2]$, фактически, независимо от того, какое значение принимает $[a]$, $[a] - [a]$ всегда равно 0. Это происходит именно потому, что существует корреляция между операциями, а интервальная арифметика игнорирует эту корреляцию, что делает результат вычисления консервативным. Если используется аффинная арифметика, полученный результат также равен 0. Можно видеть, что аффинная арифметика может в определенной степени преодолеть консервативность интервальной арифметики.

Следовательно, аффинная неопределенность имеет большее исследовательское значение, когда существует определенная связь и взаимозависимость между параметрами интервала.

2 Устойчивость и различие интервальных многочленов

2.1 Основные понятия и обозначения отображения параметрического многогранника

Для исследования робастной устойчивости автоматизированных систем управления с интервальными неопределенностями воспользуемся теоремой Харитоновой. Характеристический многочлен имеет следующий вид:

$$P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] \cdot s^i, \quad \underline{a}_i \leq a_i \leq \bar{a}_i, \underline{a}_i > 0 \quad (2.1)$$

Теорема утверждает, что устойчивость интервальных многочленов эквивалентна устойчивости следующих 4-вершинных многочленов:

$$\begin{aligned} P_1(s) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1 s^2 + \bar{a}_2 s^2 + \bar{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_2(s) &= \underline{a}_0 + \bar{a}_1 s^2 + \bar{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_3(s) &= \bar{a}_0 + \bar{a}_1 s^2 + \underline{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_4(s) &= \bar{a}_0 + \underline{a}_1 s^2 + \underline{a}_2 s^2 + \bar{a}_3 s^3 + \dots. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Данные полиномы носят название – полиномы Харитоновой [9]. Эта теорема появилась ранее и была предложена ученым Харитоновым. Эта теорема называется теоремой Харитоновой. Теорема в основном утверждает, что устойчивость интервального многочлена эквивалентна устойчивости четырехвершинного многочлена. Для обеспечения робастной устойчивости интервальных параметров необходимо и достаточно, чтобы полином Харитоновой был устойчивым.

Когда в системе есть три управляемых переменных, то есть три полинома определяются наборами значений трех параметров интервала: $[a_2], [a_1]$ и $[a_0]$. Можно сказать, что набор возможных режимов работы системы ограничен кубом в трехмерном пространстве перечисленных параметров.

Если в полиноме есть m интервальных коэффициентов (то есть переменный параметр в системе управления равен m), эти коэффициенты образуют параметрический многогранник, который представляет собой

прямоугольный гиперпараллелепипед. Что мы можем знать, так это то, что количество сторон многогранника параметров системы управления с интервальной неопределенностью можно рассчитать по следующей формуле:

$$T = m \cdot 2^{m-1} \quad (2.3)$$

где T – число ребер параметрического многогранника;

m – число интервальных параметров.

Например, если в системе есть два интервальных параметра, многогранник параметров системы будет квадратом с $N = 2 \cdot 2^{2-1} = 4$ ребрами; когда есть четыре интервальных параметра, это будет прямоугольник суперпараллельный параллелепипед – $N = 4 \cdot 2^{4-1} = 32$ ребра.

Пример данного многогранника для полинома системы с 3 интервальными коэффициентами показан на рисунке 1.

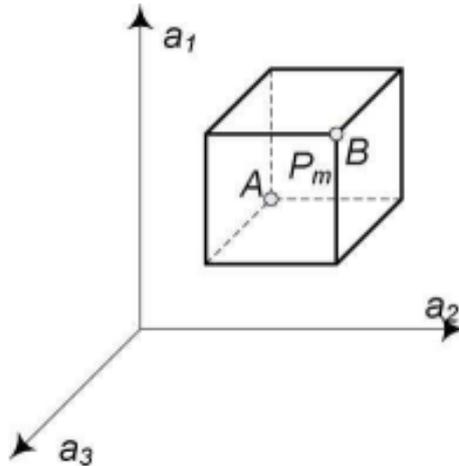


Рисунок 1 – Параметрический многогранник P_m

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

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

$$(\underline{a}_i - a_i^q) \leq \Delta a_i \leq (\overline{a}_i - a_i^q) \quad (2.4)$$

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 $0 \leq \gamma \leq 1$. 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. Реберная теорема доказывает, что наихудший показатель качества корня лежит на ребре интервального характеристического многочлена. Следовательно, нам нужно только вычислить локальные корни ребер параметрического характеристического полинома. [10]

Отображения вершин V_q многогранника обозначим через U_q . На рисунке 2 показано изображение вершин P_m на комплексную плоскость корней, при котором комплексно-сопряженные корни располагаются в двух областях, которые ограничиваются образами ребер P_m .

Интервальная неопределенность удовлетворяет ситуации на данный момент, то есть при анализе системы интервальной неопределенности необходимо учитывать только вершины характеристического полинома.

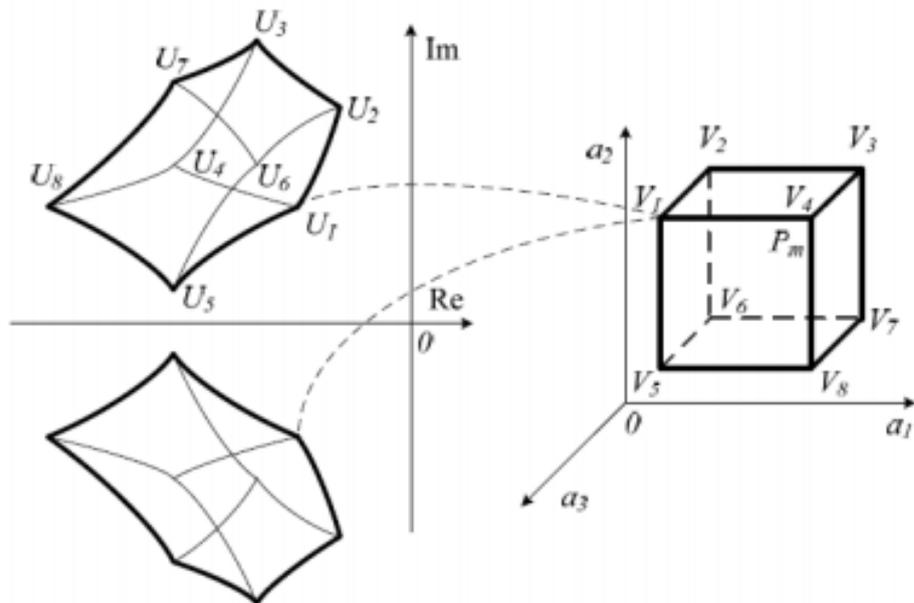


Рисунок 2 – Отображение вершин ПМ

Обозначим ребра интервального полинома через R_q , $i = \overline{1, m}$, где m - количество интервальных коэффициентов, q - это порядковый номер

вершины. Обозначим через RS_i^q образы ребер и будем называть их реберные ветви. Преобразованное изображение P_m характеристического полинома показано на рисунке 3.

Аффинная неопределенность удовлетворяет ситуации в это время, то есть, когда анализируется аффинная неопределенная система, худшее корневое качество системы находится в ребре характеристического многочлена.

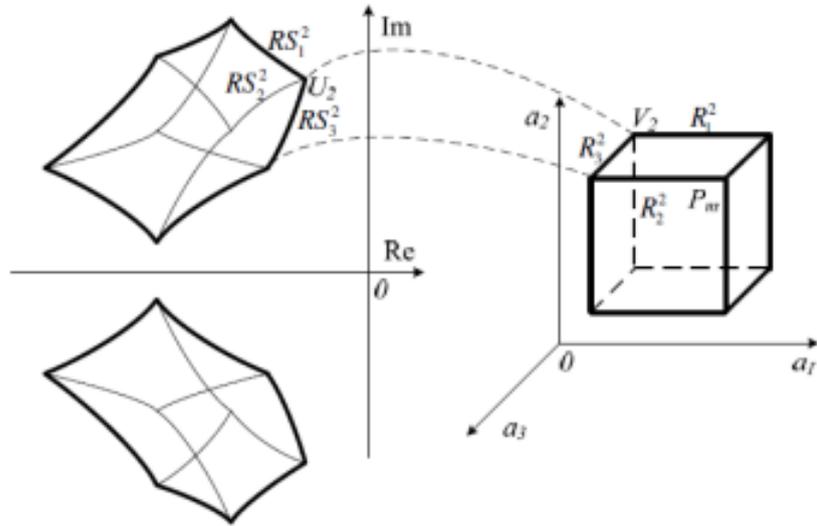


Рисунок 3 – Отображение ребер ПМ

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 RS_{ij}^q (рисунок 4)

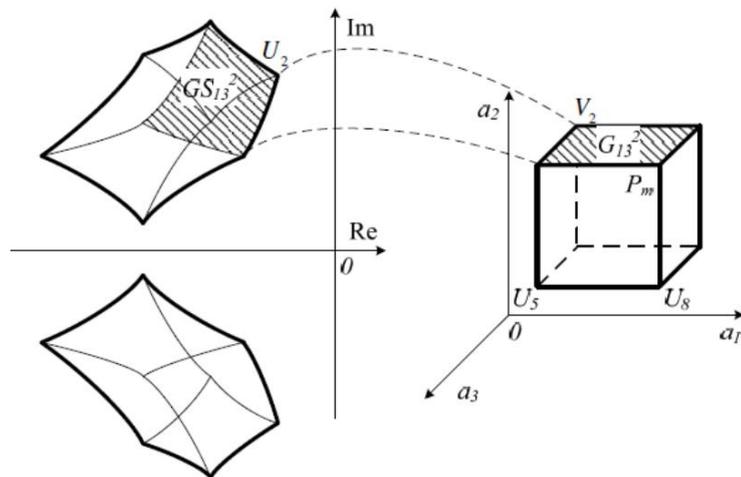


Рисунок 4 – Отображение граней ПМ

2.2 Оценка корневых показателей качества

Основная оценка качества фиксированной системы обычно принимает степень устойчивости η и колебательность μ в качестве индикаторов и оценивает, является ли система автоматического управления устойчивой, в соответствии с ее максимальной степенью вибрации и минимальной колебательностью. [12] Они определяются полиномиальными корнями, полученными замкнутой системой на комплексной плоскости. Колебательность определяется путем ограничения области Γ между двумя лучами, которые исходят от оси декартовой плоскости и покрывают все корни. Угол между лучом и действительной осью может получить параметр (рисунок 5). $\varphi = \arctg(\mu)$:

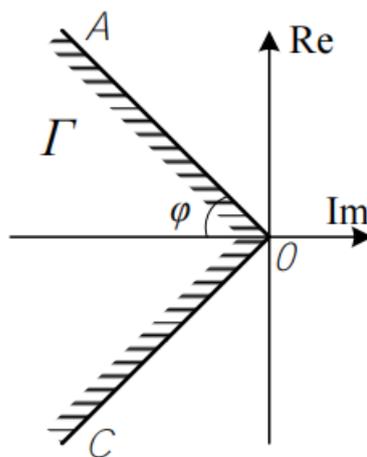


Рисунок 5 – Область локализации корней с заданной максимальной колебательностью

Проведя вертикальную линию, параллельную оси ординат (корень, ближайший к мнимой оси), мы видим, что корневая область Γ отделена. В это время видно, что минимальная устойчивость зафиксирована, то есть площадь Γ до ось Расстояние равно η (Рисунок 6).

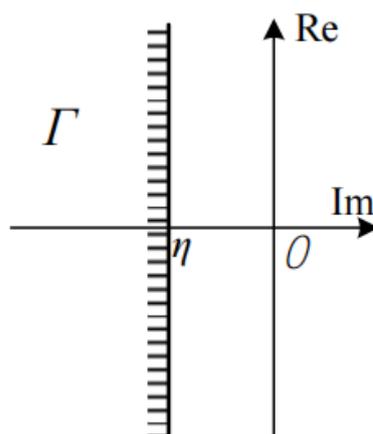


Рисунок 6 – Область локализации корней с заданной минимальной степенью устойчивости

Следовательно, совмещая рис. 5 и рис. 6, мы можем получить веерообразную область, в которой могут быть достигнуты соответственно максимально допустимая вибрация Γ и минимально допустимая устойчивость η (Рисунок 7) .

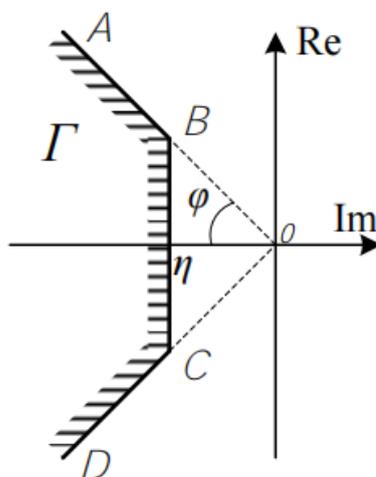


Рисунок 7 – Область желаемой локализации корней ИХП

Границу, полученную в это время, можно аппроксимировать гиперболическим методом. Тогда можно увидеть, что сектор образован двумя асимптотами $y = \pm \frac{b}{a}x$, наклон асимптоты равен $\mu = \operatorname{tg} \varphi = \pm \frac{b}{a}$, где a и b - гиперболические изображения, описываемые уравнением $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$. Для $a = \eta$ граница области показана на рисунке (рисунок 8):

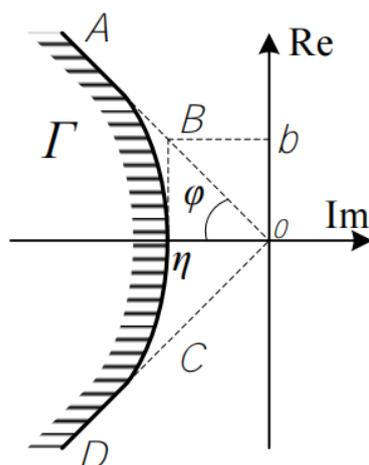


Рисунок 8 – Аппроксимированная область желаемой локализации корней

2.3 Реберная теорема

Из вышесказанного мы можем узнать, что об устойчивости системы автоматического управления судят по степени устойчивости и колебательности. Значение отображения параметра многогранника, полученное с помощью интервального характеристического полинома, может легко получить минимальную устойчивость и максимальную колебательность. Очевидно, что существуют различные факторы, влияющие на устойчивость в практических задачах (интервальные параметры). Для получения корневого качества всех параметров интервала требуется много вычислений, что занимает слишком много времени. Поэтому нам нужны некоторые алгоритмы, чтобы сократить вычисление корневых показателей качества для системы автоматического управления с аффинной неопределенностью. Ниже приводится анализ реберной теоремы.

Реберная теорема доказывает, что наихудший показатель качества корня лежит на ребре интервального характеристического многочлена. Очевидно, что корневой показатель качества, расположенный на краю системного интервала параметра неопределенности аффинного параметра, является наихудшим значением системы управления. Причина этого определения была выдвинута сотрудниками Массачусетского университета в 1987 году в статье «Положение

корня всего полиномиального многочлена: достаточно, чтобы проверить ребро». Следовательно, нам нужно только вычислить локальные корни ребер параметрического характеристического полинома. [10]

С точки зрения геометрического определения теорему можно описать так: робастный показатель качества всей системы автоматического управления (САУ) определяется робастными показателями ребер интервального характеристического полинома.

Когда теорема используется в практических приложениях, параметрический многогранник системы показан на рисунке 9.

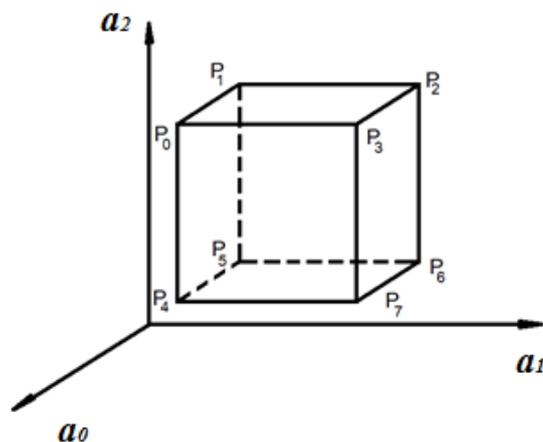


Рисунок 9– Параметрический многогранник гипотетической системы второго порядка

Передаточная функция системы:

$$W(s) = \frac{1}{[a_2] \cdot s^2 + [a_1] \cdot s + [a_0]} \quad (2.5)$$

Диапазон параметра интервала:

$$a_2 = [2; 5], a_1 = [10; 20], a_0 = [25; 50] \quad (2.6)$$

Сначала составим полином, описывающий ребра параметрического многогранника. Для этого рассмотрим значения коэффициентов интервального характеристического полинома на каждом ребре. Например, край P_1P_2 соответствует изменению коэффициента a_1 в заданном интервале. Минимальное значение коэффициента a_0 ; максимальное значение

коэффициента a_2 . Ниже (табл. 1.) приводится полный список всех двенадцати краевых многочленов исследуемой системы.

Как упоминалось ранее (2.3), поскольку система имеет три интервальных параметра, интервальный характеристический полином, полученный системой, может генерировать 12-граничные индикаторы качества. Каждое ребро характеристического полинома получается параметром интервала. Например, ребро P_1P_2 определяется диапазоном значений параметра интервала $[a]$ и фиксированными значениями a_2 , a_0 , где a_2 принимает максимальное значение в своем диапазоне, а a_0 - минимальное значение. Таблица 1 представляет собой полный список из 12 ребер характеристического многочлена.

Таблица 1. Реберные полиномы исследуемой системы

Ребро	Реберный полином
P_0P_1	$D_1(s) = \overline{a_2} \cdot s^2 + \underline{a_1} \cdot s + [a_0] = 5 \cdot s^2 + 10 \cdot s + [25; 50]$
P_1P_2	$D_2(s) = \overline{a_2} \cdot s^2 + [a_1] \cdot s + \underline{a_0} = 5 \cdot s^2 + [10; 20] \cdot s + 25$
P_2P_3	$D_{12}(s) = \overline{a_2} \cdot s^2 + \overline{a_1} \cdot s + [a_0] = 5 \cdot s^2 + 20 \cdot s + [25; 50]$
P_1P_5	$D_3(s) = [a_2] \cdot s^2 + \underline{a_1} \cdot s + \underline{a_0} = [2; 5] \cdot s^2 + 10 \cdot s + 25$
P_4P_5	$D_4(s) = \underline{a_2} \cdot s^2 + \underline{a_1} \cdot s + [a_0] = 2 \cdot s^2 + 10 \cdot s + [25; 50]$
P_5P_6	$D_5(s) = \underline{a_2} \cdot s^2 + [a_1] \cdot s + \underline{a_0} = 2 \cdot s^2 + [10; 20] \cdot s + 25$
P_2P_6	$D_{11}(s) = [a_2] \cdot s^2 + \underline{a_1} \cdot s + \overline{a_0} = [2; 5] \cdot s^2 + 10 \cdot s + 50$
P_6P_7	$D_6(s) = \underline{a_2} \cdot s^2 + \overline{a_1} \cdot s + [a_0] = 2 \cdot s^2 + 20 \cdot s + [25; 50]$
P_7P_4	$D_7(s) = \underline{a_2} \cdot s^2 + [a_1] \cdot s + \overline{a_0} = 2 \cdot s^2 + [10; 20] \cdot s + 50$
P_7P_3	$D_8(s) = [a_2] \cdot s^2 + \overline{a_1} \cdot s + \overline{a_0} = [2; 5] \cdot s^2 + 20 \cdot s + 50$
P_0P_4	$D_9(s) = [a_2] \cdot s^2 + \overline{a_1} \cdot s + \underline{a_0} = [2; 5] \cdot s^2 + 20 \cdot s + 25$
P_0P_3	$D_{10}(s) = \overline{a_2} \cdot s^2 + [a_1] \cdot s + \overline{a_0} = 5 \cdot s^2 + [10; 20] \cdot s + 50$

Фактически, решение интервального характеристического многочлена означает нахождение корней многочлена с несколькими постоянными параметрами. Корни, расположенные на ребрах всех полученных интервальных

характеристических многочленов, распределяются по корневому годографу, на основании которых могут быть рассчитаны робастные корневые показатели качества, как показано на рисунке 10.

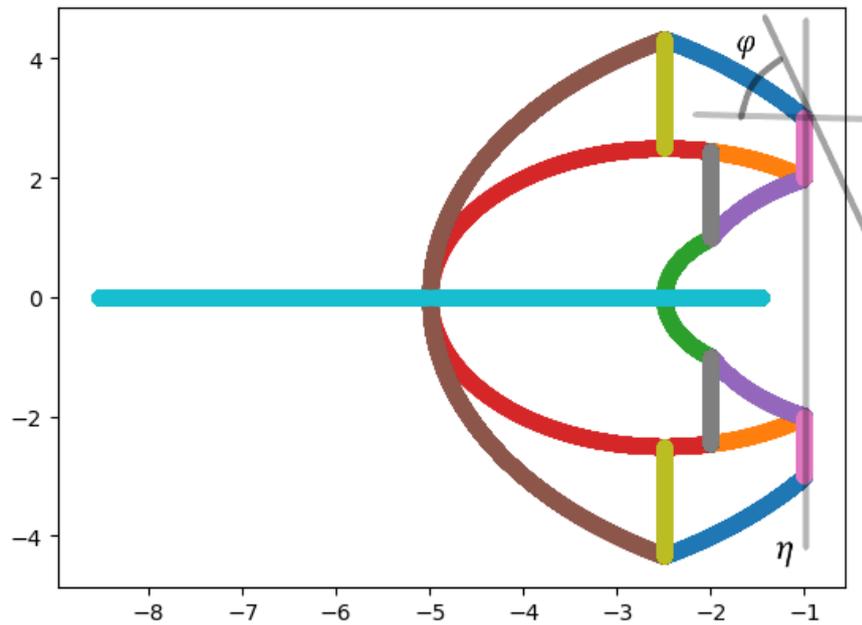


Рисунок 10 – МИКГ рассматриваемой системы

Отсюда мы можем получить минимальную устойчивость $\eta = 1,0$, а максимальная степень колебательности составляет 2,999 (значение тангенса угла φ). Следовательно, система является устойчивой. Из главы, посвященной оценке устойчивости, можно сделать вывод, что, когда показатели качества системы распределены справа от мнимой оси, возникнет нестабильное состояние.

3 Алгоритм оптимизации для аффинной неопределенной системы

Одними из основных корневых показателей качества систем автоматического управления (САУ) являются колебательность и степень устойчивости. Для их определения следует определить корни характеристического уравнения замкнутой системы. Проблема заключается в определении робастного качества всей САУ. Т.е. в определении наихудших корневых показателей качества.

Доказано, что в случае интервальной неопределенности граничными (наихудшими) корневыми показателями будут являться одни из корней вершин интервального характеристического параметрического многогранника (ИХПМ).

Но, в случае аффинной неопределенности робастные показатели качества определяются ребрами ИХПМ (рис. 11). Как в этом случае определить наихудший режим. Можно, конечно, определять корни, проходясь по ребру с определенным интервалом (рис. 12). Но это потребует большого количества вычислений, а также будет иметь определенную (заранее неизвестную) точность.

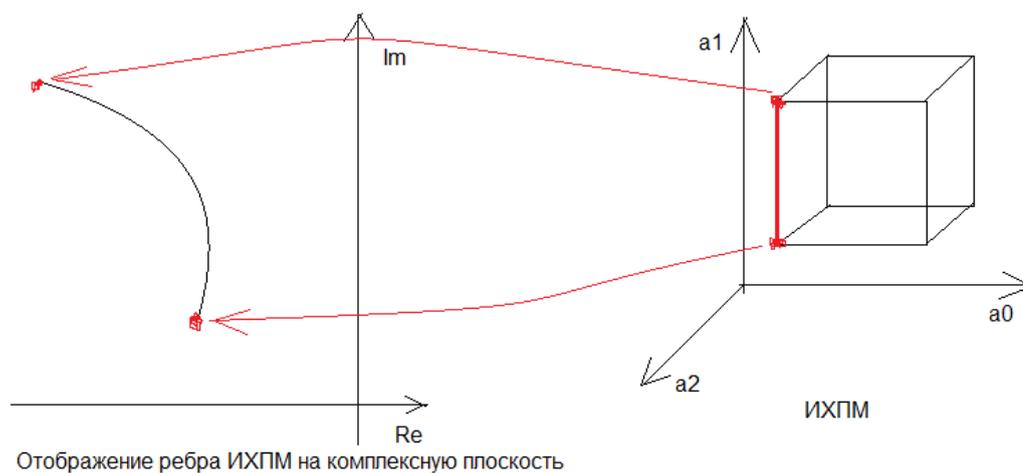


Рис. 11 – Отображение ребра ИХПМ на комплексную плоскость.

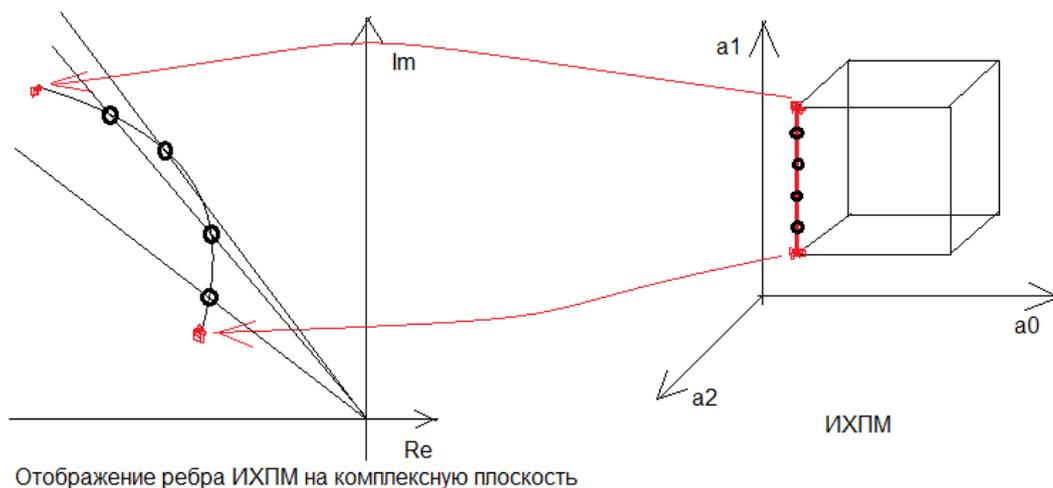


Рис. 12 – Проходя с определенным интервалом по ребру.

3.1 Одномерная оптимизация

Использование одномерной оптимизации может эффективно сократить процесс вычислений и время вычислений. Методы одномерной оптимизации можно разделить на следующие три типа.

1. Дихотомия, метод золотого сечения: получение результатов, делением интервалов в определенном соотношении.
2. Метод Ньютона-Лейбница: получение результатов с помощью производных.
3. Общий метод поиска: нахождения корневых показателей качества с определенным интервалом.

Чтобы найти экстремальное значение методом Ньютона-Рафсона, необходимо найти производную функции. Поскольку найти эту функцию сложно (очень трудоемко), она не подходит для реализации. Для ребер отображения интервальных характеристических многочленов трудно найти аналитические выражения. Однако для методов половинного и золотого сечения эта функция не требуется.

Давайте сравним дихотомию и золотое сечение на примерах.

Реализация программы в среде ППП MathCad функции $f(x) = 5 - x^2 - e^{-0.5x}$ Построение графика на интервале $[0.5, 2.0]$.

Метод половинного деления (дихотомии)

Геометрическая схема работы дихотомии показана на рисунке 13. В начале расчета интервал $[a, b]$ делится на две части, и получается промежуточное значение. В соответствии с точностью погрешности ε получаются два значения $a + \varepsilon$ и $a - \varepsilon$, по обе стороны от точки. Необходимо сравнить величину значений с обеих сторон и исключить интервал с одной стороны в соответствии с оцененным значением (максимальным или минимальным). Далее следует повторить описанный выше алгоритм до тех пор, пока полученный интервал не будет равен или меньше требуемой погрешности.

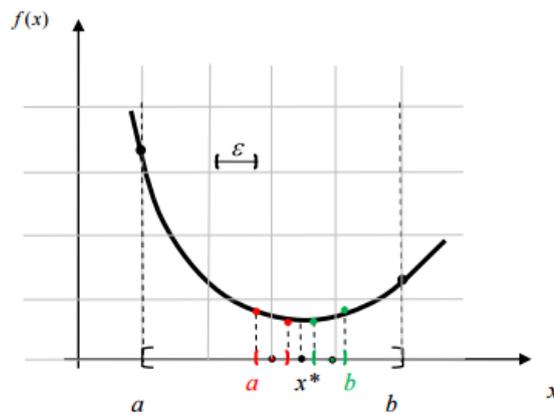


Рисунок 13 – Геометрическая иллюстрация метода дихотомии

Алгоритм метода:

Шаг 1. Задание интервала $[a, b]$ и точности вычисления ε .

Шаг 2. Задаем начальную точку: $x_1 = \frac{a+b-\varepsilon}{2}$, $x_2 = \frac{a+b+\varepsilon}{2}$.

Шаг 3. Если $f(x_2) > f(x_1)$, то $a = x_1$;

Если $f(x_2) < f(x_1)$, то $b = x_2$;

Шаг 4. Если $|b - a| < \varepsilon \rightarrow$ конец, если нет \rightarrow Шаг 1.

Шаг 5. Получите максимальное значение x , y и количество итераций n .

На рисунке 14 показана реализация программы половинного деления в Mathcad.

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{x}_{\text{half}} := \left| \begin{array}{l}
 n \leftarrow 0 \\
 \text{for } i \in 0, 1 \dots 50 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 a + b - \frac{\epsilon}{2} \\
 x_1 \leftarrow \frac{\quad}{2} \\
 \\
 a + b + \frac{\epsilon}{2} \\
 x_2 \leftarrow \frac{\quad}{2} \\
 f_1 \leftarrow f(x_1) \\
 f_2 \leftarrow f(x_2) \\
 n \leftarrow n + 1 \\
 a \leftarrow x_1 \text{ if } f_2 > f_1 \\
 b \leftarrow x_2 \text{ if } f_2 < f_1 \\
 \text{break if } |b - a| < \epsilon \\
 x_q \leftarrow x_1 \text{ if } f(x_1) < f(x_2) \\
 x_q \leftarrow x_2 \text{ if } f(x_1) > f(x_2) \\
 \left(\begin{array}{c}
 x_q \\
 f(x_q) \\
 n
 \end{array} \right)
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \right.
 \end{array}$$

Рисунке 14 – Метод половинного деления

Мы можем получить окончательный результат при $\epsilon_1 = 1 * 10^{-3}$ и $\epsilon_2 = 1 * 10^{-5}$:

$$\mathbf{x}_{\text{half}} = \begin{pmatrix} 0.223 \\ 4.056 \\ 14 \end{pmatrix} \quad \mathbf{x}_{\text{half}} = \begin{pmatrix} 0.224 \\ 4.056 \\ 21 \end{pmatrix}$$

Использование дихотомии для получения максимального значения координатной точки: $\max(\epsilon_1) = (0.223, 0.456)$, $\max(\epsilon_2) = (0.224, 0.456)$,

Метод золотого сечения

Метод золотого сечения аналогичен методу половинного деления, но его отличие состоит в том, что деление текущего интервала происходит на две неравные части в соотношении $\frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,618$. Остальной алгоритм аналогичен методу половинного деления.

На рисунке 15 показаны первые два шага метода золотого сечения для
 исключения интервалов.

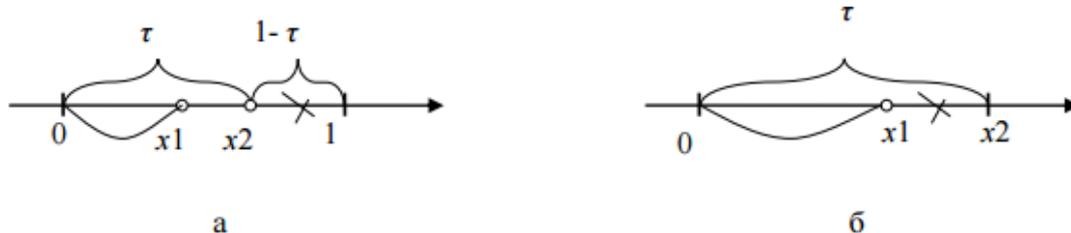


Рисунок 15 –Золотое сечение:

а –Первые шаги по сокращению масштабов;

б –Второй шаг к уменьшению объема.

Алгоритм метода:

Шаг 1. Задание интервала $[a, b]$ и точности вычисления ε .

Шаг 2. Задаем начальную точку: $x_1 = a + (b - a) \cdot (1 - 0.61803)$, $x_2 = a + (b - a) \cdot 0.61803$.

Шаг 3. Если $f(x_2) > f(x_1)$, то $a = x_1$;

Если $f(x_2) < f(x_1)$, то $b = x_2$;

Шаг 4. Если $|b - a| < \varepsilon \rightarrow$ конец, если нет \rightarrow Шаг 1.

Шаг 5. Получите максимальное значение x, y и количество итераций n .

На рисунке 16 показана реализация программы золотого сечения в Mathcad.

```

xgold :=
  n ← 0
  for i ∈ 0, 1.. 50
    x1 ← a + (b - a) · (1 - 0.61803)
    x2 ← a + (b - a) · 0.61803
    f1 ← f(x1)
    f2 ← f(x2)
    n ← n + 1
    a ← x1 if f2 > f1
    b ← x2 if f2 < f1
    break if |b - a| < ε
  xq ← x1 if f(x1) < f(x2)
  xq ← x2 if f(x1) > f(x2)
  (
    xq
    f(xq)
    n
  )

```

Рисунке 16 – Метод золотого сечения

Мы можем получить окончательный результат при $\varepsilon_1 = 1 * 10^{-3}$ и $\varepsilon_2 = 1 * 10^{-5}$:

$$x_{\text{gold}} = \begin{pmatrix} 0.223 \\ 4.056 \\ 19 \end{pmatrix} \quad x_{\text{gold}} = \begin{pmatrix} 0.224 \\ 4.056 \\ 29 \end{pmatrix}$$

Использование дихотомии для получения максимального значения координатной точки: $\max(\varepsilon_1) = (0.223, 0.456)$, $\max(\varepsilon_2) = (0.224, 0.456)$

Сравнительный анализ методов.

В таблице 2 сведены результаты поиска экстремума по используемым методам.

Таблица 2 – Результаты вычислений экстремума функции

Метод	Погрешность $\varepsilon_1 = 1 \cdot 10^{-3}$			Погрешность $\varepsilon_1 = 1 \cdot 10^{-5}$		
	X_{max}	Y_{max}	n	X_{max}	Y_{min}	n
maximum	0.223560	4.055780	-	0.223560	4.055780	-
Метод половинного деления	0.223565	4.055780	14	0.223563	4.055780	20
Метод золотого сечения	0.223564	4.055780	21	0.223557	4.055780	29

Из Таблицы 2 можно сделать вывод, что лучший метод для получения экстремального значения функции на параметре интервала требует: высокой скорости и небольшого значения ошибки. Хорошо видно, что результат, полученный при использовании метода половинного деления, значительно лучше метода золотого сечения (количество итераций невелико, и точность высокая). Путем анализа мы можем узнать, что с повышением точности, чем меньше значение ошибки, но чем больше количество наложений, тем больше времени на это требуется. [11]

Есть много методов оптимизации, и работают они по-разному. Но в реальном рабочем процессе, поскольку нам сложно быстро определить характеристики каждого характеристического полиномиального изображения, трудно найти аналитическое выражение края интервального характеристического полиномиального отображения и получить производную функции, поэтому Добавлен метод Ньютона сложен в реализации. Однако традиционный унифицированный метод поиска использует рабочий метод решения, шаг за шагом через определенные промежутки времени, что удлиняет его работу.

При использовании метода золотого сечения для решения это во многом зависит от изображения функции. Из-за неправильного выбора начальной точки

желаемое положение находится в более длинной части, что значительно увеличит количество итераций.

Следовательно, дихотомия всестороннего анализа обладает сильной универсальной адаптируемостью. Поэтому я, наконец, решил применить дихотомию для определения устойчивой корневой массы с неопределенными аффинными параметрами.

4 Программная реализация

Программа написана на языке программирования python и реализует визуальную работу с помощью модулей GUI.

Python имеет относительно немного ключевых слов, простую структуру и четко определенный синтаксис, что упрощает изучение. Определение кода более четкое, а исходный код легче поддерживать. И благодаря характеристикам открытого исходного кода Python был портирован (то есть, чтобы заставить его работать) на многие платформы.

Python имеет огромный набор библиотек. Он помогает справиться с различными задачами, включая регулярные выражения, генерацию документов, модульное тестирование, потоки, базы данных, веб-браузеры, CGI, FTP, электронную почту, XML, файлы WAV, системы паролей, GUI (графический пользовательский интерфейс), Tk и другие системные операции.

Система NumPy - это научная вычислительная библиотека Python с открытым исходным кодом, в основном используемая для научных вычислений и анализа данных, и может использоваться для хранения и обработки больших матриц.

Python использует принудительный отступ, чтобы код был легко читаемым.

Требования Python к формату кода не такие строгие, поэтому вам не нужно тратить слишком много усилий на детали. Python - это язык программирования с характеристиками псевдокода. Псевдокод (Pseudo Code) - это язык описания алгоритмов, который находится между естественным языком и языком программирования. Цель использования псевдокода - дать возможность легко использовать описанный алгоритм в любой реализации на языке программирования (C, Java).

По сравнению с другими основными языками, такими как C++ и Java, Python реализует объектно-ориентированное программирование очень мощным и простым способом.

Структура программы

Метод дихотомии используется в Python для выполнения надежного анализа качества корня неопределенности аффинных параметров. Быстро и точно найти робастное значение корневого показателя (степени устойчивости и колебательности) на ребре на основе интервального полинома

Форма уравнения, которую может использовать программа:

$$q_2 \cdot s^2 + q_1 \cdot s + q_0 = 0$$

$$q_2 = x_2 \cdot a_2 + y_2 \cdot a_1 + z_2 \cdot a_0 + m_2$$

$$q_1 = x_1 \cdot a_2 + y_1 \cdot a_1 + z_1 \cdot a_0 + m_1$$

$$q_0 = x_0 \cdot a_2 + y_0 \cdot a_1 + z_0 \cdot a_0 + m_0$$

где q_2, q_1, q_0 – коэффициенты каждого порядка s (аффинные параметры),
 a_2, a_1, a_0 – коэффициенты каждого порядка (параметр интервала),
и коэффициенты q_2, q_1, q_0 связан с x, y, z .

Интерфейс пользователя представлен на рисунке 17.

The screenshot shows a graphical user interface for a Python program. The window title is "Расчет робастных показателей качества полинома с аффинной неопределенностью". The interface is organized into several sections:

- q2:** A row of four input boxes labeled "x", "y", "z", and "m".
- q1:** A row of four input boxes labeled "x", "y", "z", and "m".
- q0:** A row of four input boxes labeled "x", "y", "z", and "m".
- a2:** An input box followed by a minus sign and another input box, with a "max X" label and an input box to the right.
- a1:** An input box followed by a minus sign and another input box, with a "max tan" label and an input box to the right.
- a0:** An input box followed by a minus sign and another input box, with an "angle" label and an input box to the right.
- time:** A label and an input box.

At the bottom of the window, there are four buttons: "Дихотомия", "Шаговый метод", "Построение корневого годографа", and "Сброс".

Рисунок 18 – Интерфейс пользователя

Для расчета робастных корневых показателей качества, а также для построения многопараметрического корневого годографа, необходимо в соответствии с формулой необходимо ввести фактические необходимые параметры в поля на рисунке 19.

q2:	x	<input type="text"/>	y	<input type="text"/>	z	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>
q1:	x	<input type="text"/>	y	<input type="text"/>	z	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>
q0:	x	<input type="text"/>	y	<input type="text"/>	z	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>

Рисунок 19 – Ввод коэффициентов

В поле рисунка 20 необходимо заполнить требуемые диапазоны интервалов параметров.

a2	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>
a1	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>
a0	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>

Рисунок 20 – Ввод интервалов

В пространстве на рисунке 21 показан окончательный результат расчета.

- Max x – минимальная степень устойчивости;
- Max tan – максимальная колебательность;
- Angle – угол, при котором максимальная степень колебания;
- Time – время, затраченное на расчет

max X	<input type="text"/>
max tan	<input type="text"/>
angle	<input type="text"/>
time	<input type="text"/>

Рисунок 21 – Получение результата

Кнопка на рисунке 22 выполняет следующие команды.

- дихотомия – анализ робастных корневых показателей качества с использованием метода половинного деления (дихотомии);
- шаговый метод – произвести расчет корневых робастных показателей качества с использованием пошагового метода (библиотека Python поставляется с алгоритмом);
- построение корневого годографа – показывает распределение корней на комплексной плоскости;
- сброс – сбросить параметры, пересчитать.

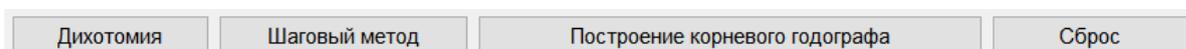


Рисунок 22 – Выполнить операцию

После ввода параметров можно получить (результат, полученный методом дихотомии):

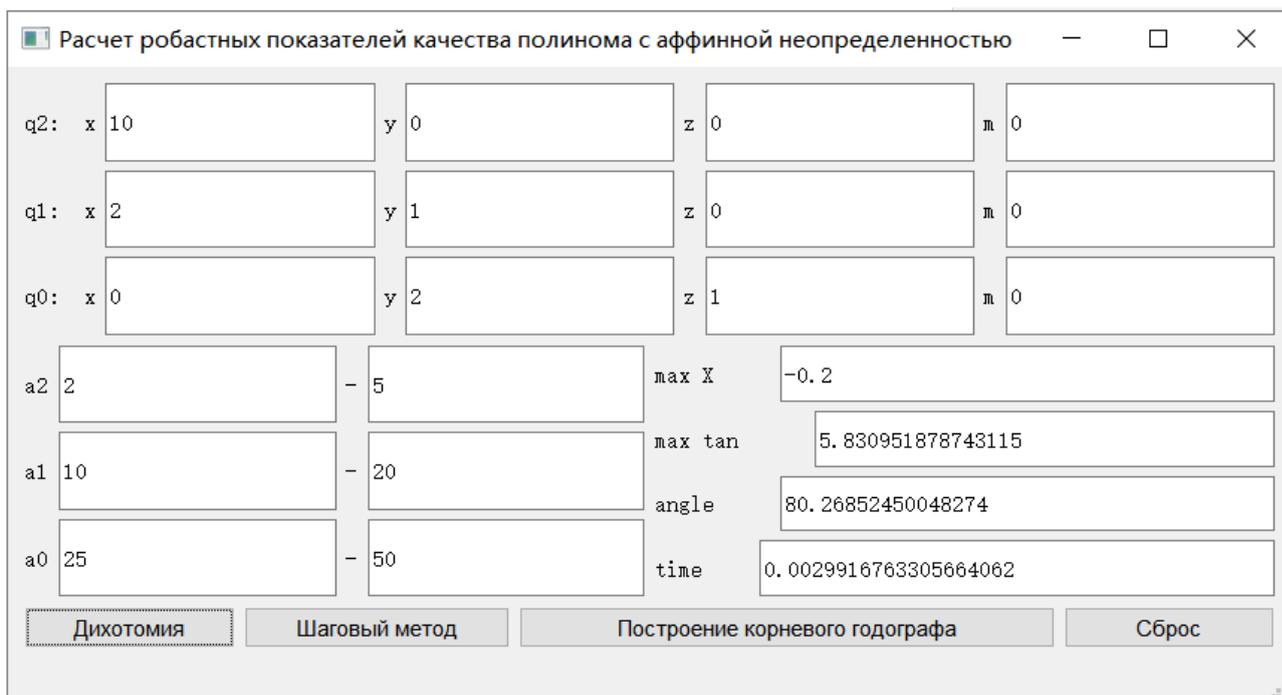


Рисунок 23 – Расчет степени устойчивости η и колебательности φ с дихотомии

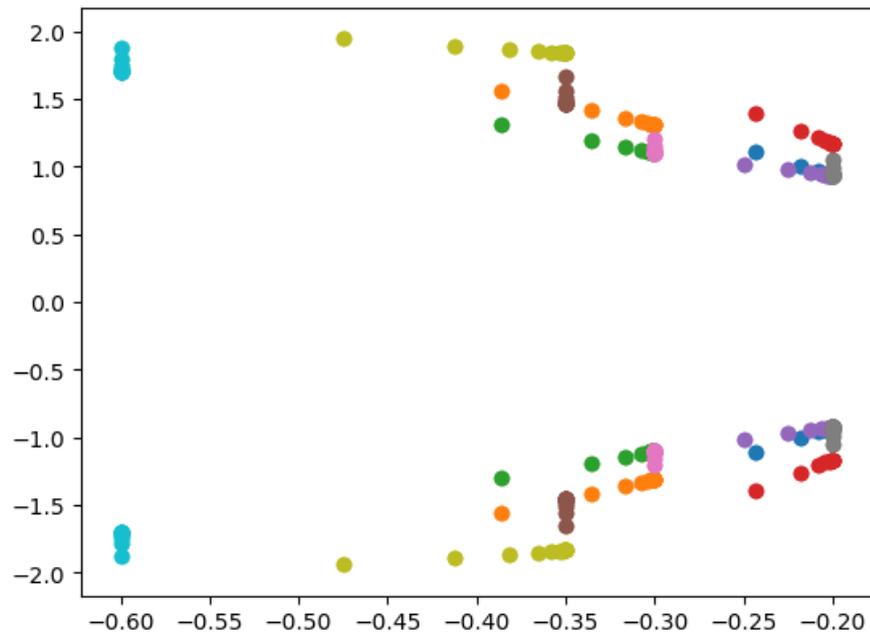


Рисунок 24 – Корневой годограф

Результат, полученный пошаговым методом, реализованным в библиотеке python:

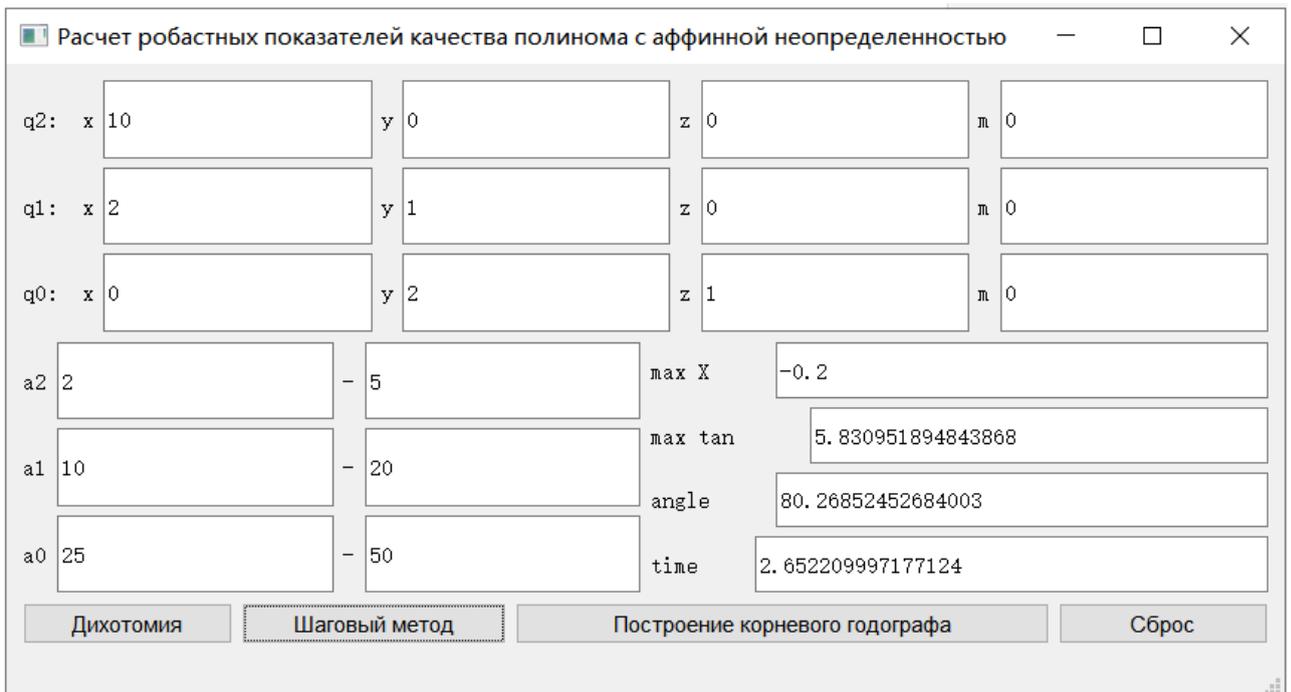


Рисунок 25 – Расчет степени устойчивости η и колебательности φ с использованием шагового метода

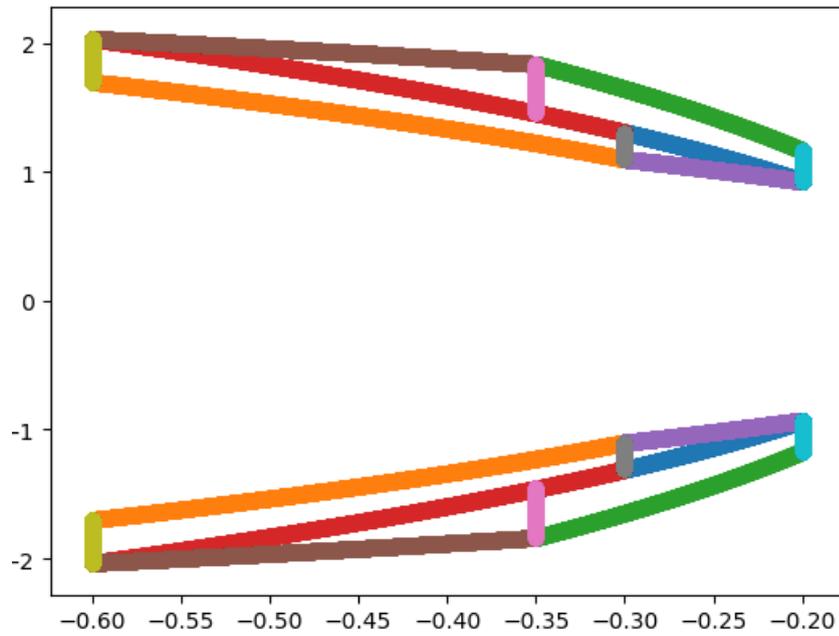


Рисунок 26 – Корневой годограф

Из сравнения видно, что время, затрачиваемое на расчет качества корня с использованием дихотомии, значительно меньше. В работе получаем минимальную степень устойчивости $\eta = 0.2$ и максимальную колебательность $\varphi = 5.831$.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

5.1 Организация и планирование работ

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

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в

следующем порядке:

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

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

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл.3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель 100%
2	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель 100%, инженер 10%
3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель 30%, инженер 100%
4	Разработка календарного плана	Научный руководитель 20%, инженер 100%
5	Обсуждение литературы	Научный руководитель 30%, инженер 100%
6	Расчет принципиальной схемы устройства	Научный руководитель 20%, инженер 100%
7	Разработка ПО	Научный руководитель 20%, инженер 100%
8	Тестирование результаты	Инженер 100%
9	Оформление расчетно-пояснительной записки	Инженер 100%

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
10	Оформление графического материала	Инженер 100%
11	Подведение итогов	Научный руководитель 70%, инженер 100%

5.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожи} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5} \quad (5.1)$$

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

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

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

Для выполнения перечисленных в таблице 4 работ требуются специалисты:

- инженер (И);
- научный руководитель (НР).

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:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (5.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (5.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (5.4)$$

где $T_{кал}$ – календарные дни ($T_{кал} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 12$).

$$T_k = \frac{366}{366 - 52 - 12} = 1,212$$

На основе табл. 4 строится календарный план-график. График строится для среднего по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 5 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4 – График проведения научного исследования

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					Т _{рд}		Т _{зд}	
		<i>t_{min}</i>	<i>t_{max}</i>	<i>t_{ож}</i>	НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	3	5	3,8	4,56	-	5,53	-
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,34	4,07	0,41
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	13	11	4,03	13,44	4,88	16,29
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	0,67	3,36	0,81	4,07
Обсуждение литературы	НР, И	2	4	2,8	1,01	3,36	1,22	4,07
Расчет принципиальной схемы устройства	НР, И	15	20	17	4,08	20,4	4,94	24,72
Разработка ПО	НР, И	12	15	13	3,12	15,6	3,78	18,91
Тестирование ПО	И	6	10	7,6	-	9,12	-	11,05
Оформление расчетно- пояснительной записки	И	6	9	7,2	-	8,64	-	10,47
Оформление графического материала	И	2	5	3,2	-	3,84	-	4,65
Подведение итогов	НР, И	2	3	2,4	2,02	2,88	2,45	3,49
Итого:				74	22,85	80,98	27,68	98,13

Таблица 5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	5,53	–	■										
2	4,07	0,41	■	■									
3	4,88	16,29		■	■	■							
4	0,81	4,07				■	■						
5	1,22	4,07				■	■						
6	4,94	24,72				■	■	■	■				
7	3,78	18,91						■	■	■			
8	–	11,05								■	■		
9	–	10,47									■	■	
10	–	4,65										■	■
11	2,45	3,49											■

5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (*i*-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ – 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, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (6.5)

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

Применительно к таблице (1.2) величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета $TP_i(\%)$ и $CG_i(\%)$ на основе этих данных содержится в таблице 6.

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

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Постановка задачи	4,39	4,39
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	3,56	7,95
Подбор и изучение материалов по тематике	16,82	24,77
Разработка календарного плана	3,88	28,65
Обсуждение литературы	4,20	32,85
Выбор структурной схемы устройства	23,23	56,08
Выбор принципиальной схемы устройства	18,02	74,1
Расчет принципиальной схемы устройства	8,78	82,88
Оформление расчетно-пояснительной записки	8,32	91,2
Оформление графического материала	3,69	94,89
Подведение итогов	4,72	100.00

5.2 Расчет накопления готовности проекта

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

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.2.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются

соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи} \quad (5.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 5% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 7.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Блокнот	80	2шт.	160
Бумага для принтера формата А4	1	200шт.	200
Ручка шариковая	5	5шт.	25
Карандаш	10	1шт.	10
Стирательная резинка	20	1шт.	20
Затрат ПО (mathCAD или другое)	240	1	240
Итого:	–	–	655

Расходы на материалы составили

Смат = 655 рублей.

5.2.2 Расчет заработной платы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 9.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\frac{\text{Дневная з плата}}{\text{плата}} = \frac{\text{Месячный оклад}}{24,83\text{дней}} \quad (5,7)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 9. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 8. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям КПП = 0,3 и районный коэффициент $K_{РК} = 0,3$ ($K = 1,3 * 1,3 = 1,69$).

Таблица 8 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./ме	Среднедневная ставка, руб./день	Затраы времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23264,86	937	22,85	1,69	36183,66
И	14874,45	599	80,98	1,62	78581,37
Итого:	-	-	-	-	114765,032

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$Z_{\text{осн}} = 114765,032$$

5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 114765,032 * 0,3 = 34429,51$ руб.

5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (5.8)$$

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

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 5,257$ руб./квт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 1.2 для инженера ($T_{\text{рД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рД}} \cdot K_t \quad (5.9)$$

Где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени.

K_t равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рД}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном

использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{НОМ} \cdot K_C \quad (5.10)$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая Мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{об}$, руб.
Персональный компьютер	647,84*0,5	0,3	510,85
Струйный принтер	1	0,1	0,53
Итого:			511,38

5.2.5 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:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{об}}{F_D} \cdot t_{рф} \cdot n \quad (5.11)$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 40\%$;

$C_{об}$ – цена оборудования, $C_{об} = 70029$ руб;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 2384$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования при создании;

программного продукта, $t_{рф} = 118$ часа;

n – число задействованных ПЭВМ, $n = 1$.

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,40 \cdot 70029 \cdot 1 \cdot 208}{2384} = 2443,96 \text{ руб.}$$

Для принтера $C_{об} = 12000$ 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 $C_{AM} = 2443,96 \text{ руб} + 36 \text{ руб.} = 2479,96 \text{ руб.}$

5.2.6 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

$$C_{проч} = (C_{мат} + C_{эп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам}) \cdot 0,1 \quad (5.12)$$

Подставим значения и вычислим:

$$C_{проч} = (655 + 114765,032 + 34429 + 511,38 + 2479,96) \cdot 0,1 = 15274 \text{ руб}$$

5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

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

Таблица 10 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	C_{MAT}	655
Основная заработная плата	$C_{ОСН}$	114765
Отчисления в социальные фонды	$C_{СОЦ}$	34429
Расходы на электроэнергию	Э	511,38
Амортизационные отчисления	C_{AM}	2479,96
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{НР}$	–
Прочие расходы	$C_{ПРОЧ}$	15284

Итого:	168124,34
---------------	------------------

Таким образом, расходы на разработку составили $C = 168124,34$ руб.

5.2.8 Прибыль

Примем прибыль в размере 5 - 20 % от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 33624,87 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

5.2.9 НДС

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

$$(168124,34 + 33624,87) \cdot 0,18 = 36314,86 \text{ руб.}$$

5.2.10 Цена разработки НИР

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

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 168124,34 + 33624,87 + 36314,86 = 238064,067 \text{ руб.}$$

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

В рамках работы не представляется возможным оценить экономическую эффективность проекта, так как разработка носит чисто научный характер. В процессе работы был произведен синтез системы автоматического управления заданной степени апериодической устойчивости. Методика синтеза регулятора основана на фиксировании ближайшего к мнимой оси вещественного корня системы в точке, обеспечивающей желаемую степень апериодической устойчивости системы и, соответственно, переходный процесс определенной длительности без перерегулирования.

Результатом выполнения работы является получение устойчивой системы автоматического управления с определенными параметрами функционирования и заданным объектом управления.

Значимость данной работы состоит в том, что на ее примере возможен синтез систем автоматического управления различной степени апериодической устойчивости по рассмотренному в ней методу без особых экономических затрат.

Представленный метод может быть реализованы в широком круге

производств.

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

5.3.1 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:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (5.13)$$

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 11 – 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 12 – 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 13 – 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 14 – 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. 15.

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 16, проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Таблица 15 – 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 1.14.

Таблица 16 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относительно новая	4	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 анализ 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

6. Социальная ответственность

Основная работа данной статьи - анализ устойчивости систем автоматического управления с характеристическими полиномиальными коэффициентами и аффинной неопределенностью. Объект исследования - автоматическая система управления с аффинной системой управления. Важным аспектом теории управления является проблема робастной устойчивости. Многие ACS содержат параметры с неопределенными интервалами и аффинны. Неопределенность заключается в том, что во время работы системы параметры будут изменяться по ранее неизвестным законам, но возможный диапазон значений постоянных параметров или пределы изменяемых параметров известны. В этом случае мы говорим об интервале параметров и аффинной неопределенности и анализируем характеристики неопределенности аффинных параметров на характеристическом многограннике.

Поскольку отсутствуют условия для физических экспериментов (особенно прототипа разрабатываемого оборудования) на протяжении всего процесса реализации проекта, основным методом планирования исследований является компьютерное моделирование. Поэтому основным рабочим инструментом, задействованным в этой работе, является ПК. В этой главе будет разработан комплекс мер по минимизации или устранению негативного воздействия факторов, возникающих при использовании компьютеров.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль. Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации

контролирующих предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

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

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

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

Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе

и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

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

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. [15]

Кроме того, стоит сократить время работы за компьютером, делать перерывы при 8-ми часовой смене.

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

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

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

6.2 Производственная безопасность

В процессе трудовой деятельности на сотрудника офиса могут оказывать воздействие различного рода производственные факторы. Для их предупреждения и сохранения здоровья работника предусматривается ряд мер по обеспечению безопасности трудовой деятельности.

Офисные работники сталкиваются с повышенным уровнем шума, нарушением температурного режима, недостаточной освещенностью и т.д. Важную роль играют и психофизические факторы: зрительное, слуховое, умственное перенапряжение, монотонность труда и т.д.

Для представления всех вредных и опасных факторов необходимо классифицировать их в соответствии с нормативными документами.

Таблица 17 – Классификация вредных и опасных факторов

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Работа с компьютером и орг. техникой	<ol style="list-style-type: none">1. Повышенная или пониженная влажность воздуха2. Повышенная (пониженная) температура воздуха3. Повышенный уровень шума4. Повышенный уровень электромагнитных излучений5. Недостаточная освещенность рабочего места6. Эмоциональные перегрузки7. Умственное перенапряжение8. Монотонность труда	<ol style="list-style-type: none">1. Опасность поражения электрически м током2. Короткое замыкание3. Статическое электричество	<ol style="list-style-type: none">1. ГОСТ 12.0.003-742. СанПиН 2.2.4.548-963. ГОСТ 12.1.006 –844. СанПиН 2.2.1/2.1.1.12 78-035. СанПиН 2.2.2/2.4.134 0-036. СНиП 2.04.05- 91

6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

При исследовании работы индуктивного преобразователя перемещения, на организм влияет целый ряд негативных факторов, а именно:

Источник фактора – персональный компьютер;

Вредные факторы:

1. Отклонение параметров микроклимата;
2. Недостаточная освещённость рабочего места;
3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;
4. Повышенная напряженность магнитного поля.

Опасный фактор – электрический ток

6.3.1 Производственное освещение

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

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. [16]

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.

6.3.2 Микроклимат рабочего помещения

Повышенная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой температуре увеличивается теплоотдача с

поверхности кожи, что ведет к переохлаждению. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

Выполняемые работы по интенсивности энергозатрат попадают в категорию Ia, так как выполняются сидя и без значительных физических напряжений. Таким образом, оптимальными нужно считать параметры микроклимата, соответствующие категории Ia в таблице 18 и 19.

Таблица 18 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений. [17]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	40-60	0,1
Тёплый	Ia (до 139)	23-25		0,1

Таблица 19 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений . [17]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	15-75	0,1
Тёплый	Ia (до 139)	21,0-22,9		0,1

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата необходимо применять системы отопления, вентиляции и кондиционирования, увлажнители воздуха, в рабочих помещениях с ПЭВМ необходимо ежедневно проводить влажную уборку и каждый час проветривать помещение.

6.3.3 Производственные шумы

Одним из важнейших параметров, наносящим большой ущерб для здоровья и резко снижающим производительность труда, является шум.

Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

В результате исследований установлено, что шум ухудшает условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: он затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает необратимые изменения в органах слуха человека. Шум воздействует не только на органы слуха, но и на весь организм человека через центральную нервную систему. Ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе.

Помещения, в которых для работы используются ПЭВМ, не должны граничить с помещениями, в которых уровень шума превышает нормируемые значения. При выполнении исследований работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Таблица 20 – Допустимый уровень звукового давления по видам трудовой деятельности . [18]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Научная деятельность в лаборатории для теоретических работ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

6.3.4 Электромагнитные поля

При длительном действии электромагнитного поля различных диапазонов длин волн характерно развитие функциональных расстройств центральной нервной системы, неярко выраженные сдвиги эндокринно-обменных процессов, изменение состава крови, трофические нарушения и стойкое снижение работоспособности.

Источником электромагнитного поля и электромагнитных излучений на рабочем месте является компьютер, в частности экран монитора компьютера, процессор. Вокруг ПК образуется электромагнитное поле с диапазоном частот от 5 до 400 кГц/ Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/час [16]. Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений [19]

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: – для взрослых пользователей	20 кВ/м

Предельно-допустимые нормы ЭМП, создаваемых ПЭВМ, представлены в таблице 22

Таблица 22 – Предельно допустимые нормы ЭМП, создаваемых ПЭВМ [19]

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

Ряд мероприятий, позволяющих уменьшить влияние вредных факторов на работника при работе за ПК: каждые 45–60 минут, необходимо делать перерыв на 10–15, выполнять гимнастику для глаз, а также выполнять упражнения на расслабление, которые могут уменьшить напряжение, накапливающееся в мышцах при длительной работе за компьютером.

6.3.5 Психофизиологические факторы

«Умственная деятельность – это деятельность, прежде всего, центральной нервной системы, ее высшего отдела – коры человеческого мозга». [20]

«При умственной работе, как и при физической, изменяются обменные процессы, но повышение общего обмена незначительно, происходит сужение сосудов конечностей и расширение сосудов внутренних органов, пульс изменяется незначительно, потребление кислорода мозгом увеличивается в 15-20 раз при умственной работе по сравнению с физической». [6]

«Длительная работа, требующая эмоционально-нервного напряжения, может привести к сердечно-сосудистым и другим заболеваниям. Хорошо известно, что кардиосклероз и атеросклероз чаще встречаются у работников умственного труда». [20]

«Для обеспечения безопасности труда необходимо организовать производственный процесс так, чтобы он исключал стрессы. Вместе с тем, необходимо, чтобы в аварийных условиях стресс не явился причиной неправильных действий и не ухудшил производственную обстановку. Поэтому очень важно в процессе профессионального обучения подготовить рабочего к работе в экстремальных и аварийных условиях так, чтобы стрессы не помешали ему в этих сложных условиях выполнить свои профессиональные обязанности. Эффективным средством профилактики стрессов при экстремальных условиях является профессиональная подготовка на тренажерах, имитирующих аварии». [20]

«Гиподинамия – это нарушение функций организма (опорно-двигательного аппарата, кровообращения, дыхания, пищеварения) при ограничении двигательной активности, снижении сил сопротивления мышц.

Профилактика гиподинамии предусматривает производственную гимнастику, изменение рабочей позы в процессе работы, общие меры по снижению утомляемости и монотонности труда». [20]

Подводя итог можно исключить воздействие психофизиологических факторов на сотрудников, так как есть методы по их устранению, а также место работы способствует устранению данных проблем.

6.4 Экологическая безопасность

В настоящее время обеспечение экологической безопасности и защита окружающей среды являются важным аспектом любой технологической деятельности. Меры, принимаемые для повышения экологической безопасности, в основном заключаются в снижении уровня загрязнения окружающей среды. Все загрязнения могут быть классифицированы в соответствии с типом загрязняемой среды: 1) загрязнения литосферы (почвы); 2) загрязнение гидросферы; 3) загрязнения атмосферы.

Загрязнения атмосферы, в результате искусственной вентиляции воздуха, и загрязнения гидросферы, в результате выхода производимых в процессе жизнедеятельности сотрудников сточных вод, не связаны непосредственно с реализацией данной работы. При этом, влияние указанных факторов на глобальную и локальную экологическую обстановку незначительно при отсутствии аварийных ситуаций. Это связано, с отсутствием в здании, каких либо технологических линий, работа которых, сопровождается выбросом жидких или газообразных отходов.

Непосредственно с выполнением данной работы, могут быть связаны негативно влияющие на экологию факторы, сопутствующие эксплуатации ПК. В частности, аспектами негативного влияния являются, отходы и выбросы, имеющие место на этапе производства ПК, а также отходы, связанные с неполной их утилизацией. Кроме того, компьютерная техника является набором приборов, потребляющих электроэнергию, в связи с чем, нерациональное их использование может быть также расценено, как необоснованная нагрузка на окружающую среду.

На основе выполненного анализа влияния компьютерной техники на окружающую среду, стоит отметить, что современные ПК, практически не оказывают негативного влияния на окружающую среду, посредством

электромагнитных (в разных диапазонах частот спектра) излучениях. Кроме того, для современных ПК характерен низкий уровень производимых шумов. Таким образом, при дальнейшем рассмотрении проблемы целесообразно остановиться на последних двух факторах влияния.

В связи с тем, что в настоящее время продолжается интенсивное развитие компьютерной техники, сопровождающееся расширением круга решаемых задач, происходит быстрое устаревание как аппаратной части компьютеров, так и их программного обеспечения. Лаборатории вычислительной техники, в одной из которых производилось выполнение данной работы, для создания условий для проведения научно-исследовательских работ должны комплектоваться относительно современной техникой и разнообразным, актуальным программным обеспечением. Это, в частности, означает необходимость периодической (раз в несколько лет) замены использующихся компьютеров.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным ЧС на рабочем месте можно отнести внезапное обрушение здания, взрывы и пожары.

Наиболее вероятны – пожары вследствие замыкания электрической проводки, возгорания неисправного компьютера, несоблюдения правил пожарной безопасности.

- К противопожарными мероприятии относятся:
- повышение огнестойкости здания;
- использование исключительно исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для оповещения о возникшем пожаре в дома установлены пожарные речевые системы оповещения, с требуемыми параметрами: уровень развиваемого давления 70 – 110дБА, равномерность частотной характеристики не более 16 дБ. Также на каждом этаже в коридорах дома огнетушитель ОП-4 и вывешен план эвакуации, расположенный на видном месте. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации. [21]

Анализ возможных причин загорания

Причиной загорания может быть:

1. неисправность токоведущих частей установок;
2. работа с открытой электроаппаратурой;
3. короткие замыкания в блоке питания или высоковольтном блоке дисплейной развертки;
4. несоблюдение правил пожарной безопасности;
5. наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п

Оценка пожарной безопасности помещения

Согласно нормам технологического проектирования [21], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, (В1-В4), Г, Д. Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям от наиболее опасной (А) к наименее опасной (Д)

Наличие в лабораторной аудитории множества деревянных изделий (столы, шкафы), электропроводов напряжением 220В, а также применение электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами – паяльниками дает право отнести помещение по степени пожаро и взрывобезопасности к категории Д . К категории Д относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном

состоянии.

Для категории Д характерно наличие в помещении:

1. жидкости с температурой вспышки выше 610;
2. твердых сгораемых веществ и материалов.

При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической сети может произойти возгорание, которое грозит уничтожением ЭВМ, документов и другого имеющегося оборудования. Система вентиляции может стать источником распространения возгорания.

Так как помещение оператора по степени пожаровзрывоопасности относится к категории Д, т.е. к помещениям с твердыми сгораемыми веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

В качестве возможных причин пожара можно указать следующие:

1. наличие горючей пыли (некоторые осевшие частицы пыли способны к самовозгоранию);
2. короткие замыкания;
3. опасная перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции;
4. нередко пожары происходят при пуске оборудования после ремонта.

Для предупреждения пожаров от коротких замыканий и перегрузок необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей, дисплеев и других электрических средств автоматизации.

Следовательно, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

Пожарная профилактика

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий,

противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным относятся установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

Заключение

В данной статье рассматривается система автоматического управления с аффинной неопределенностью и анализируются особенности интервальной неопределенности и аффинной неопределенности. В работе показано, как интервальный характеристический многочлен и его корневое геометрическое место отображаются на комплексной плоскости.

Обсудив все типы неопределенности параметров, установлено, что для обеспечения робастного качества системы управления при интервальной неопределенности требуется только анализ вершин многогранника параметров. Анализ САУ с аффинной неопределенностью требует большого количества вычислений, поскольку робастный корневой показатель качества при аффинной неопределенности лежит на ребре интервального характеристического многочлена. По мере увеличения параметра интервала количество рассчитываемых ребер увеличивается в геометрической прогрессии.

Для анализа робастных корневых показателей качества системы с аффинной неопределенностью используется реберная теорема. Для оптимизации количества вычислений и нахождения результата с заданной точностью в работе предложен алгоритм половинного деления (дихотомии). Указанный алгоритм успешно реализован в программе, написанной на языке Python. Это упрощает процесс расчета и значительно сокращает время расчета.

Список литература

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2004. – 576 с.
2. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский – М.: Академия, 2006. – 272 с.
3. MIRANDA V, MATOS M, SARAIVA J T. Fuzzy load flow new algorithms incorporating uncertain generation and load representation cc1// proceedings of the 10th power system computation conference. August, 1990, Graz, Austria : 621-627.
4. Zhang D Q , He X Q , Zhang Q L. Recent Results of Stability Analysis on Interval System s [J]. J of Anshan Institute of I & S Technology , 2002, 25 (6): 4192423.
5. Moore R E, Kearfott R B, Cloud M J. Introduction to interval analysis [M]. Siam, 2009.
6. Вадутов, О.С. Применение реберной маршрутизации для анализа устойчивости интервальных полиномов / О.С. Вадутов, С.А. Гайворонский Известия РАН. Теория и системы управления. — 2003. — № 6. — С. 7-12.
7. Гайворонский, С.А. Анализ региональной робастной устойчивости системы методом интервального корневого годографа / С.А. Гайворонский.
8. FIGUEIREDO L.H. STOLFI J. Affine arithmetic: concepts and applications [J]. Numerical Algorithms, 2004. 37: 147-158.
9. Харитонов В.Л. О выпуклых направлениях для устойчивых полиномов / В.Л. Харитонов, Д. Хинричсен // АиТ. 1997. №3. – с.192.
10. Поляк, Б.Т. Развитие теории автоматического управления / Б.Т. Поляк Проблемы управления. — 2009. — № 3.1 — С. 13-18.
11. Суходоев, М.С. Корневой анализ и синтез систем с интервальными параметрами на основе вершинных характеристических полиномов / М.С. Суходоев; Томский политехнический университет. — Томск, 2008.

12. Скворцов, Л.М. Синтез закона управления по заданным полюсам и нулям передаточной функции / Л.М. Скворцов // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1987. № 6. – С. 149-153.
13. Клюев А.С. Настройка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. / А.С. Клюев, А.Г. Товарнов //– М.: Энергия, 1970. – 280 с.
14. Хлебалин, Н.А. Построение интервальных полиномов с заданной областью расположения корней / Н.А. Хлебалин // Аналитические методы синтеза регуляторов. – Саратов: Изд. Саратовского политех. ин-та, 1982. – С. 92-98.
15. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
16. СНиП 23-05-95 разработан в соответствии с общей системой нормативных документов в строительстве и входит в состав комплекса 23.
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
18. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. санитарные нормы.
19. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона.
20. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
21. СП 3.13130.2009. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре .Требования пожарной безопасности.
22. ГОСТ 22.07.2008 N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

Приложение А
(обязательное)
Листинг программы

Листинг кода запуска программы(Program) :

```
import sys
import time
import matplotlib.pyplot as plt
from PyQt5.QtWidgets import QApplication, QMainWindow
from ui import Ui_main
from PyQt5.QtCore import QThread, pyqtSignal, QMutex
import numpy as np

lock = QMutex()
error = 0.001

colormap = plt.cm.tab10

def solve_quad(a, b, c):
    if a == 0:
        return (0, 0), (0, 0)
    else:
        delta = b * b - 4 * a * c
        x = -b / (2 * a)
        if delta == 0:
            return (x, 0), (x, 0)
        elif delta > 0:
            x1 = x - np.sqrt(delta) / (2 * a)
            x2 = x + np.sqrt(delta) / (2 * a)
            return (x1, 0), (x2, 0)
        else:
            x1_rm = np.sqrt((-1) * delta) / (2 * a)
            x2_rm = -np.sqrt((-1) * delta) / (2 * a)
            return (x, x1_rm), (x, x2_rm)

def get_result(
    q0_x, q0_y, q0_z, q0_m,
    q1_x, q1_y, q1_z, q1_m,
    q2_x, q2_y, q2_z, q2_m,
    a0, a1, a2):
    q2 = q2_x * a2 + q2_y * a1 + q2_z * a0 + q2_m
    q1 = q1_x * a2 + q1_y * a1 + q1_z * a0 + q1_m
    q0 = q0_x * a2 + q0_y * a1 + q0_z * a0 + q0_m

    return solve_quad(q2, q1, q0)

class BinaryCalThread(QThread):
    update_result = pyqtSignal(list)
    update_time = pyqtSignal(float)
```

```

def __init__(self):
    super(BinaryCalThread, self).__init__()
    self.q0_x = None
    self.q0_y = None
    self.q0_z = None
    self.q0_m = None

    self.q1_x = None
    self.q1_y = None
    self.q1_z = None
    self.q1_m = None

    self.q2_x = None
    self.q2_y = None
    self.q2_z = None
    self.q2_m = None

    self.a0_min = None
    self.a0_max = None

    self.a1_min = None
    self.a1_max = None

    self.a2_min = None
    self.a2_max = None

    self.a0_mode = None
    self.a1_mode = None
    self.a2_mode = None

    self.a0 = None
    self.a1 = None
    self.a2 = None

    self.q0 = None
    self.q1 = None
    self.q2 = None

    self.result = []

def set_data(self,
             q0_x, q0_y, q0_z, q0_m,
             q1_x, q1_y, q1_z, q1_m,
             q2_x, q2_y, q2_z, q2_m,
             a0_min, a0_max,
             a1_min, a1_max,
             a2_min, a2_max):
    self.q0_x = q0_x
    self.q0_y = q0_y
    self.q0_z = q0_z
    self.q0_m = q0_m

```

```

self.q1_x = q1_x
self.q1_y = q1_y
self.q1_z = q1_z
self.q1_m = q1_m

self.q2_x = q2_x
self.q2_y = q2_y
self.q2_z = q2_z
self.q2_m = q2_m

self.a0_min = a0_min
self.a0_max = a0_max

self.a1_min = a1_min
self.a1_max = a1_max

self.a2_min = a2_min
self.a2_max = a2_max

def set_mode(self, a0_mode, a1_mode, a2_mode):
    self.a0_mode = a0_mode
    self.a1_mode = a1_mode
    self.a2_mode = a2_mode

def init_mode(self):
    if self.a0_mode == 'min':
        self.a0 = self.a0_min

    if self.a0_mode == 'max':
        self.a0 = self.a0_max

    if self.a1_mode == 'min':
        self.a1 = self.a1_min

    if self.a1_mode == 'max':
        self.a1 = self.a1_max

    if self.a2_mode == 'min':
        self.a2 = self.a2_min

    if self.a2_mode == 'max':
        self.a2 = self.a2_max

def run_step(self):
    now = time.time()
    if self.a0_mode == 'range':
        right = self.a0_max
        left = self.a0_min
        while left <= right:
            x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                               self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,

```

```

        self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
        left, self.a1, self.a2)

    left = left + error
    self.result.append(x_left)
    self.update_result.emit(self.result)
elif self.a1_mode == 'range':
    right = self.a1_max
    left = self.a1_min
    while left <= right:
        x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                            self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                            self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                            self.a0, left, self.a2)

        left = left + error
        self.result.append(x_left)
        self.update_result.emit(self.result)
elif self.a2_mode == 'range':
    right = self.a2_max
    left = self.a2_min
    while left <= right:
        x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                            self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                            self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                            self.a0, self.a1, left)

        left = left + error
        self.result.append(x_left)
        self.update_result.emit(self.result)
    self.update_time.emit(time.time() - now)

def run(self):
    now = time.time()
    if self.a0_mode == 'range':
        right = self.a0_max
        left = self.a0_min
        while right - left > error:
            x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                                self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                                self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                                left, self.a1, self.a2)

            x_right = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                                 self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                                 self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                                 right, self.a1, self.a2)

            mid = (right + left) / 2.0
            x_mid = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                               self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                               self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                               mid, self.a1, self.a2)

            if x_mid[0][0] <= x_left[0][0]:
                right = mid
            else:

```

```

        left = mid
        self.result.append(x_mid)
        self.update_result.emit(self.result)
    elif self.a1_mode == 'range':
        right = self.a1_max
        left = self.a1_min
        while right - left > error:
            x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                               self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                               self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                               self.a0, left, self.a2)
            x_right = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                                self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                                self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                                self.a0, right, self.a2)

            mid = (right + left) / 2.0
            x_mid = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                               self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                               self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                               self.a0, mid, self.a2)
            if x_mid[0][0] <= x_left[0][0]:
                right = mid
            else:
                left = mid
                self.result.append(x_mid)
                self.update_result.emit(self.result)
    elif self.a2_mode == 'range':
        right = self.a2_max
        left = self.a2_min
        while right - left > error:
            x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                               self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                               self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                               self.a0, self.a1, left)
            x_right = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                                self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                                self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                                self.a0, self.a1, right)

            mid = (right + left) / 2.0
            x_mid = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                               self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                               self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                               self.a0, self.a1, mid)
            if x_mid[0][0] <= x_left[0][0]:
                right = mid
            else:
                left = mid
                self.result.append(x_mid)
                self.update_result.emit(self.result)
        self.update_time.emit(time.time() - now)

```

```

class StepCalThread(QThread):
    update_result = pyqtSignal(list)
    update_time = pyqtSignal(float)

    def __init__(self):
        super(StepCalThread, self).__init__()
        self.q0_x = None
        self.q0_y = None
        self.q0_z = None
        self.q0_m = None

        self.q1_x = None
        self.q1_y = None
        self.q1_z = None
        self.q1_m = None

        self.q2_x = None
        self.q2_y = None
        self.q2_z = None
        self.q2_m = None

        self.a0_min = None
        self.a0_max = None

        self.a1_min = None
        self.a1_max = None

        self.a2_min = None
        self.a2_max = None

        self.a0_mode = None
        self.a1_mode = None
        self.a2_mode = None

        self.a0 = None
        self.a1 = None
        self.a2 = None

        self.q0 = None
        self.q1 = None
        self.q2 = None

        self.result = []

    def set_data(self,
                q0_x, q0_y, q0_z, q0_m,
                q1_x, q1_y, q1_z, q1_m,
                q2_x, q2_y, q2_z, q2_m,
                a0_min, a0_max,
                a1_min, a1_max,

```

```

        a2_min, a2_max):
self.q0_x = q0_x
self.q0_y = q0_y
self.q0_z = q0_z
self.q0_m = q0_m

self.q1_x = q1_x
self.q1_y = q1_y
self.q1_z = q1_z
self.q1_m = q1_m

self.q2_x = q2_x
self.q2_y = q2_y
self.q2_z = q2_z
self.q2_m = q2_m

self.a0_min = a0_min
self.a0_max = a0_max

self.a1_min = a1_min
self.a1_max = a1_max

self.a2_min = a2_min
self.a2_max = a2_max

def set_mode(self, a0_mode, a1_mode, a2_mode):
self.a0_mode = a0_mode
self.a1_mode = a1_mode
self.a2_mode = a2_mode

def init_mode(self):
if self.a0_mode == 'min':
self.a0 = self.a0_min

if self.a0_mode == 'max':
self.a0 = self.a0_max

if self.a1_mode == 'min':
self.a1 = self.a1_min

if self.a1_mode == 'max':
self.a1 = self.a1_max

if self.a2_mode == 'min':
self.a2 = self.a2_min

if self.a2_mode == 'max':
self.a2 = self.a2_max

def run(self):
now = time.time()
if self.a0_mode == 'range':

```

```

right = self.a0_max
left = self.a0_min
while left <= right:
    x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                        self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                        self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                        left, self.a1, self.a2)

    left = left + error
    self.result.append(x_left)
    self.update_result.emit(self.result)
elif self.a1_mode == 'range':
right = self.a1_max
left = self.a1_min
while left <= right:
    x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                        self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                        self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                        self.a0, left, self.a2)

    left = left + error
    self.result.append(x_left)
    self.update_result.emit(self.result)
elif self.a2_mode == 'range':
right = self.a2_max
left = self.a2_min
while left <= right:
    x_left = get_result(self.q0_x, self.q0_y, self.q0_z, self.q0_m,
                        self.q1_x, self.q1_y, self.q1_z, self.q1_m,
                        self.q2_x, self.q2_y, self.q2_z, self.q2_m,
                        self.a0, self.a1, left)

    left = left + error
    self.result.append(x_left)
    self.update_result.emit(self.result)
self.update_time.emit(time.time() - now)

```

```

class MainWindow(QMainWindow):
    def __init__(self):
        super(MainWindow, self).__init__()
        self.ui = Ui_main()
        self.ui.setupUi(self)
        self.mode_list = [
            ('min', 'min', 'range'),
            ('max', 'max', 'range'),
            ('min', 'max', 'range'),
            ('max', 'min', 'range'),

            ('min', 'rang', 'min'),
            ('max', 'rang', 'max'),
            ('min', 'range', 'max'),
            ('max', 'range', 'min'),

            ('range', 'min', 'min'),

```

```

        ('range', 'max', 'max'),
        ('range', 'min', 'max'),
        ('range', 'max', 'min'),
    ]
    self.binary_cal_thread_list = []
    for _ in range(12):
        cal_thread = BinaryCalThread()
        cal_thread.update_result.connect(self.update_result)
        cal_thread.update_time.connect(self.update_time)
        self.binary_cal_thread_list.append(cal_thread)

    self.step_cal_thread_list = []
    for _ in range(12):
        cal_thread = StepCalThread()
        cal_thread.update_result.connect(self.update_result)
        cal_thread.update_time.connect(self.update_time)
        self.step_cal_thread_list.append(cal_thread)

    self.ui.binary_run.clicked.connect(self.binary_run)
    self.ui.step_run.clicked.connect(self.step_run)
    self.ui.reset.clicked.connect(self.reset)
    self.ui.show_image.clicked.connect(self.show_image)

    self.results = []
    self.use_time = 0

    def reset(self):
        self.ui.q0_x.setText("")
        self.ui.q0_y.setText("")
        self.ui.q0_z.setText("")
        self.ui.q0_m.setText("")

        self.ui.q1_x.setText("")
        self.ui.q1_y.setText("")
        self.ui.q1_z.setText("")
        self.ui.q1_m.setText("")

        self.ui.q2_x.setText("")
        self.ui.q2_y.setText("")
        self.ui.q2_z.setText("")
        self.ui.q2_m.setText("")

        self.ui.a0_min.setText("")
        self.ui.a0_max.setText("")

        self.ui.a1_min.setText("")
        self.ui.a1_max.setText("")

        self.ui.a2_min.setText("")
        self.ui.a2_max.setText("")
        self.reset_result()

```

```

def reset_result(self):
    self.results = []
    self.use_time = 0
    self.ui.x_max.setText("")
    self.ui.tan_max.setText("")
    self.ui.angle.setText("")
    self.ui.time.setText("")

def show_image(self):
    fig = plt.figure()
    colors = [colormap(i) for i in np.linspace(0, 1, len(self.results))]
    for i, result in enumerate(self.results):
        X = []
        Y = []
        for item in result:
            X.append(item[0][0])
            Y.append(item[0][1])
            X.append(item[1][0])
            Y.append(item[1][1])

        plt.scatter(X, Y, c=colors[i])

    fig.show()

def binary_run(self):
    self.reset_result()
    q0_x = float(self.ui.q0_x.text())
    q0_y = float(self.ui.q0_y.text())
    q0_z = float(self.ui.q0_z.text())
    q0_m = float(self.ui.q0_m.text())

    q1_x = float(self.ui.q1_x.text())
    q1_y = float(self.ui.q1_y.text())
    q1_z = float(self.ui.q1_z.text())
    q1_m = float(self.ui.q1_m.text())

    q2_x = float(self.ui.q2_x.text())
    q2_y = float(self.ui.q2_y.text())
    q2_z = float(self.ui.q2_z.text())
    q2_m = float(self.ui.q2_m.text())

    a0_min = float(self.ui.a0_min.text())
    a0_max = float(self.ui.a0_max.text())

    a1_min = float(self.ui.a1_min.text())
    a1_max = float(self.ui.a1_max.text())

    a2_min = float(self.ui.a2_min.text())
    a2_max = float(self.ui.a2_max.text())

    for index, cal_thread in enumerate(self.binary_cal_thread_list):
        cal_thread.set_data(q0_x, q0_y, q0_z, q0_m,

```

```

        q1_x, q1_y, q1_z, q1_m,
        q2_x, q2_y, q2_z, q2_m,
        a0_min, a0_max,
        a1_min, a1_max,
        a2_min, a2_max)
    cal_thread.set_mode(*self.mode_list[index])
    cal_thread.init_mode()
    cal_thread.start()

```

```

def step_run(self):

```

```

    self.reset_result()
    q0_x = float(self.ui.q0_x.text())
    q0_y = float(self.ui.q0_y.text())
    q0_z = float(self.ui.q0_z.text())
    q0_m = float(self.ui.q0_m.text())

```

```

    q1_x = float(self.ui.q1_x.text())
    q1_y = float(self.ui.q1_y.text())
    q1_z = float(self.ui.q1_z.text())
    q1_m = float(self.ui.q1_m.text())

```

```

    q2_x = float(self.ui.q2_x.text())
    q2_y = float(self.ui.q2_y.text())
    q2_z = float(self.ui.q2_z.text())
    q2_m = float(self.ui.q2_m.text())

```

```

    a0_min = float(self.ui.a0_min.text())
    a0_max = float(self.ui.a0_max.text())

```

```

    a1_min = float(self.ui.a1_min.text())
    a1_max = float(self.ui.a1_max.text())

```

```

    a2_min = float(self.ui.a2_min.text())
    a2_max = float(self.ui.a2_max.text())

```

```

for index, cal_thread in enumerate(self.step_cal_thread_list):

```

```

    cal_thread.set_data(q0_x, q0_y, q0_z, q0_m,
                       q1_x, q1_y, q1_z, q1_m,
                       q2_x, q2_y, q2_z, q2_m,
                       a0_min, a0_max,
                       a1_min, a1_max,
                       a2_min, a2_max)
    cal_thread.set_mode(*self.mode_list[index])
    cal_thread.init_mode()
    cal_thread.start()

```

```

def update_time(self, use_time):

```

```

    lock.lock()
    self.use_time += use_time
    self.ui.time.setText(str(self.use_time))
    lock.unlock()

```

```

def update_result(self, result):
    lock.lock()
    self.results.append(result)
    all_x = []
    all_tan = []

    for result in self.results:
        for item in result:
            all_x.append(item[0][0])
            tan1 = np.abs(item[0][1]) / np.abs(item[0][0])
            tan2 = np.abs(item[0][1]) / np.abs(item[0][0])
            all_tan.append(tan1)
            all_tan.append(tan2)

    max_x = max(all_x)
    max_tan = max(all_tan)
    angle = (180 / np.pi) * np.arctan(max_tan)
    self.ui.x_max.setText(str(max_x))
    self.ui.tan_max.setText(str(max_tan))
    self.ui.angle.setText(str(angle))

    lock.unlock()

if __name__ == '__main__':
    app = QApplication([])
    window = MainWindow()
    window.show()
    sys.exit(app.exec_())

```

Листинг кода GUI:

```

from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets

class Ui_main(object):
    def setupUi(self, main):
        main.setObjectName("main")
        main.resize(673, 343)
        self.centralwidget = QtWidgets.QWidget(main)
        self.centralwidget.setObjectName("centralwidget")
        self.gridLayout = QtWidgets.QGridLayout(self.centralwidget)
        self.gridLayout.setObjectName("gridLayout")
        self.splitter = QtWidgets.QSplitter(self.centralwidget)
        self.splitter.setOrientation(QtCore.Qt.Vertical)
        self.splitter.setObjectName("splitter")
        self.splitter_2 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter)
        self.splitter_2.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
        self.splitter_2.setObjectName("splitter_2")
        self.label_6 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_2)
        self.label_6.setObjectName("label_6")
        self.label_7 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_2)
        self.label_7.setObjectName("label_7")
        self.q2_x = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_2)
        self.q2_x.setObjectName("q2_x")

```

```

self.label_8 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_2)
self.label_8.setObjectName("label_8")
self.q2_y = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_2)
self.q2_y.setObjectName("q2_y")
self.label_9 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_2)
self.label_9.setObjectName("label_9")
self.q2_z = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_2)
self.q2_z.setObjectName("q2_z")
self.label_12 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_2)
self.label_12.setObjectName("label_12")
self.q2_m = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_2)
self.q2_m.setObjectName("q2_m")
self.splitter_3 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter)
self.splitter_3.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_3.setObjectName("splitter_3")
self.label_13 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_3)
self.label_13.setObjectName("label_13")
self.label_15 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_3)
self.label_15.setObjectName("label_15")
self.q1_x = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_3)
self.q1_x.setObjectName("q1_x")
self.label_16 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_3)
self.label_16.setObjectName("label_16")
self.q1_y = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_3)
self.q1_y.setObjectName("q1_y")
self.label_17 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_3)
self.label_17.setObjectName("label_17")
self.q1_z = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_3)
self.q1_z.setObjectName("q1_z")
self.label_18 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_3)
self.label_18.setObjectName("label_18")
self.q1_m = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_3)
self.q1_m.setObjectName("q1_m")
self.splitter_9 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter)
self.splitter_9.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_9.setObjectName("splitter_9")
self.label_33 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_9)
self.label_33.setObjectName("label_33")
self.label_34 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_9)
self.label_34.setObjectName("label_34")
self.q0_x = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_9)
self.q0_x.setObjectName("q0_x")
self.label_35 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_9)
self.label_35.setObjectName("label_35")
self.q0_y = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_9)
self.q0_y.setObjectName("q0_y")
self.label_36 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_9)
self.label_36.setObjectName("label_36")
self.q0_z = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_9)
self.q0_z.setObjectName("q0_z")
self.label_37 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_9)
self.label_37.setObjectName("label_37")

```

```

self.q0_m = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_9)
self.q0_m.setObjectName("q0_m")
self.gridLayout.addWidget(self.splitter, 0, 0, 1, 2)
self.splitter_13 = QtWidgets.QSplitter(self.centralwidget)
self.splitter_13.setOrientation(QtCore.Qt.Vertical)
self.splitter_13.setObjectName("splitter_13")
self.splitter_10 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter_13)
self.splitter_10.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_10.setObjectName("splitter_10")
self.label_38 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_10)
self.label_38.setObjectName("label_38")
self.a2_min = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_10)
self.a2_min.setObjectName("a2_min")
self.label_39 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_10)
self.label_39.setObjectName("label_39")
self.a2_max = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_10)
self.a2_max.setObjectName("a2_max")
self.splitter_7 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter_13)
self.splitter_7.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_7.setObjectName("splitter_7")
self.label_19 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_7)
self.label_19.setObjectName("label_19")
self.a1_min = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_7)
self.a1_min.setObjectName("a1_min")
self.label_20 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_7)
self.label_20.setObjectName("label_20")
self.a1_max = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_7)
self.a1_max.setObjectName("a1_max")
self.splitter_8 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter_13)
self.splitter_8.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_8.setObjectName("splitter_8")
self.label_21 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_8)
self.label_21.setObjectName("label_21")
self.a0_min = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_8)
self.a0_min.setObjectName("a0_min")
self.label_22 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_8)
self.label_22.setObjectName("label_22")
self.a0_max = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_8)
self.a0_max.setObjectName("a0_max")
self.gridLayout.addWidget(self.splitter_13, 1, 0, 1, 1)
self.splitter_14 = QtWidgets.QSplitter(self.centralwidget)
self.splitter_14.setOrientation(QtCore.Qt.Vertical)
self.splitter_14.setObjectName("splitter_14")
self.splitter_4 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter_14)
self.splitter_4.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_4.setObjectName("splitter_4")
self.label_14 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_4)
self.label_14.setObjectName("label_14")
self.x_max = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_4)
self.x_max.setObjectName("x_max")
self.splitter_11 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter_14)
self.splitter_11.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)

```

```

self.splitter_11.setObjectName("splitter_11")
self.max_tan = QtWidgets.QLabel(self.splitter_11)
self.max_tan.setObjectName("max_tan")
self.tan_max = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_11)
self.tan_max.setObjectName("tan_max")
self.splitter_12 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter_14)
self.splitter_12.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_12.setObjectName("splitter_12")
self.max_tan_2 = QtWidgets.QLabel(self.splitter_12)
self.max_tan_2.setObjectName("max_tan_2")
self.angle = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_12)
self.angle.setObjectName("angle")
self.splitter_6 = QtWidgets.QSplitter(self.splitter_14)
self.splitter_6.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_6.setObjectName("splitter_6")
self.time_label = QtWidgets.QLabel(self.splitter_6)
self.time_label.setObjectName("time_label")
self.time = QtWidgets.QLineEdit(self.splitter_6)
self.time.setObjectName("time")
self.gridLayout.addWidget(self.splitter_14, 1, 1, 1, 1)
self.splitter_5 = QtWidgets.QSplitter(self.centralwidget)
self.splitter_5.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter_5.setObjectName("splitter_5")
self.binary_run = QtWidgets.QPushButton(self.splitter_5)
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("Arial")
self.binary_run.setFont(font)
self.binary_run.setObjectName("binary_run")
self.step_run = QtWidgets.QPushButton(self.splitter_5)
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("Arial")
self.step_run.setFont(font)
self.step_run.setObjectName("step_run")
self.show_image = QtWidgets.QPushButton(self.splitter_5)
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("Arial")
self.show_image.setFont(font)
self.show_image.setObjectName("show_image")
self.reset = QtWidgets.QPushButton(self.splitter_5)
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("Arial")
self.reset.setFont(font)
self.reset.setObjectName("reset")
self.gridLayout.addWidget(self.splitter_5, 2, 0, 1, 2)
main.setCentralWidget(self.centralwidget)
self.menubar = QtWidgets.QMenuBar(main)
self.menubar.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 673, 24))
self.menubar.setObjectName("menubar")
main.setMenuBar(self.menubar)
self.statusbar = QtWidgets.QStatusBar(main)
self.statusbar.setObjectName("statusbar")
main.setStatusBar(self.statusbar)

```

```
self.retranslateUi(main)
QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(main)
```

```
def retranslateUi(self, main):
    _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
    main.setWindowTitle(_translate("main", "Расчет робастных показателей
качества полинома с аффинной неопределенностью"))
    self.label_6.setText(_translate("main", "q2: "))
    self.label_7.setText(_translate("main", "x"))
    self.label_8.setText(_translate("main", "y"))
    self.label_9.setText(_translate("main", "z"))
    self.label_12.setText(_translate("main", "m"))
    self.label_13.setText(_translate("main", "q1: "))
    self.label_15.setText(_translate("main", "x"))
    self.label_16.setText(_translate("main", "y"))
    self.label_17.setText(_translate("main", "z"))
    self.label_18.setText(_translate("main", "m"))
    self.label_33.setText(_translate("main", "q0: "))
    self.label_34.setText(_translate("main", "x"))
    self.label_35.setText(_translate("main", "y"))
    self.label_36.setText(_translate("main", "z"))
    self.label_37.setText(_translate("main", "m"))
    self.label_38.setText(_translate("main", "a2"))
    self.label_39.setText(_translate("main", "-"))
    self.label_19.setText(_translate("main", "a1"))
    self.label_20.setText(_translate("main", "-"))
    self.label_21.setText(_translate("main", "a0"))
    self.label_22.setText(_translate("main", "-"))
    self.label_14.setText(_translate("main", "max X"))
    self.max_tan.setText(_translate("main", "max tan"))
    self.max_tan_2.setText(_translate("main", "angle"))
    self.time_label.setText(_translate("main", "time"))
    self.binary_run.setText(_translate("main", "Дихотомия"))
    self.step_run.setText(_translate("main", "Шаговый метод"))
    self.show_image.setText(_translate("main", "Построение корневого годографа"))
    self.reset.setText(_translate("main", "Сброс"))
```

Приложение Б
(обязательное)

Analysis of the root robust quality of automatic control systems with affine parameter
uncertainty

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Чжай Юаньцзе		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

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

1 Theory of robust control

The parameter method based on the theory of intervals is an important area of research in robust control. In the case of known boundaries of parameter variation, the theory of interval correlation can be used to describe the mathematical model of objects with uncertain parameters. Such systems are commonly referred to as interval systems. Interval systems research is mainly focused on the theory of polynomial and matrix stability [4]. In addition, some scientists have proposed algorithms based on interval analysis for the analysis and synthesis of more complex systems of perturbations associated with parameters.

1.1 Interval theory and interval algorithm

In the process of system analysis, if only the parameter x is distributed in the interval $[x - \Delta x, x + \Delta x]$ and the specific distribution is unknown, then the parameter can be expressed as the number of the interval as $x = [\underline{x}, \bar{x}]$, $\underline{x} = x - \Delta x$ can be viewed as the lower bound for the variable x , and $\bar{x} = x + \Delta x$ is the upper bound for x . It can be seen from this that in the theory of interval analysis, the parameter of an interval is expressed as an unknown variable, and the range of values of a variable is an interval with a given upper and lower bounds, without specifying a specific distribution of parameters; what In other words, in research and engineering practice. If interval arithmetic is needed to handle undefined information, only upper and lower limits of the undefined information can be determined, and no other information is required. Consequently, the method of describing undefined parameters using interval numbers requires low and low requirements. The scope of application is broader.

How interval arithmetic works:

In interval arithmetic, the undefined variable x must be specified in the form of interval variable in the process of use, usually expressed in the following two forms [5]:

1. The form of the above lower boundary is expressed as:

$$x = [\underline{x}, \bar{x}] \quad (1.1)$$

where \underline{x} and \bar{x} are the left and right boundaries of the variable x .

2. In the form of the center, it can be expressed as:

$$[x] = m([x]) + \left[-\frac{1}{2}w([x]), \frac{1}{2}w([x]) \right] = m([x]) + \frac{1}{2}w([x])[-1,1] \quad (1.2)$$

where $m([x])$ and $w([x])$ represent the average value and radius of the interval variable $[x]$, respectively.

When the known shape 1.2 needs to find the shape 1.1, the following formula can be used for the calculation:

$$\underline{x} = m([x]) - \frac{1}{2}w([x]), \bar{x} = m([x]) + \frac{1}{2}w([x])$$

For interval operations with interval numbers, this is often completed by calculating the limits of the interval variables. For example: given two interval variables $[x] = [\underline{x}, \bar{x}]$, $[y] = [\underline{y}, \bar{y}]$, four arithmetic operations with interval variables look like this [6]:

The addition between the interval coefficients $[x]$ and $[y]$ is carried out according to the following rules:

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

That is, the lower bound of the sum of two intervals is equal to the sum of the lower bounds of these terms. The upper limit of the sum of two intervals is equal to the sum of the upper limits of these terms.

The subtraction between the interval coefficients $[x]$ and $[y]$ is performed according to the following rules:

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

That is, the lower boundary of the difference between the two intervals is equal to the difference between the lower boundary of the reduced and the upper boundary of the subtracted one; the upper limit of the difference between the two intervals is equal to the difference between the upper limit of the reduced and the lower limit of the subtracted one.

The multiplication of $[x]$ and $[y]$ is performed according to the following rule:

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

It can be obtained that the upper boundary of the product of the two interval coefficients is obtained by the product of the maximum value of the factor boundary, and the lower boundary of the product of the two interval coefficients is obtained by the product of the minimum value.

Division of the interval $[x]$ and $[y]$ consists in multiplying the divisor by the interval, that is, the reciprocal of the divisor:

$$[x]/[y] = [x] \cdot 1/[y]$$

The calculation rules for the reciprocal of the interval coefficient are as follows:

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

1.2 Interval characteristic polynomial

The core of the interval parameter automatic control system is the controlled and variable parameters in the ACS. Therefore, the same description in a robust system can be described as: it exists in the form of state space, can be transformed into the form of characteristic polynomial or matrix, and can be expressed by linear and nonlinear transfer functions for complex systems. We can know that the coefficients of the transfer function of the robust system and the coefficients of the characteristic polynomial transformed by the transfer function are determined by the interval parameter. [7]

The interval characteristic polynomial (ICP) is usually used as the denominator of the transfer function in ACS. For characteristic polynomials, the coefficients are usually determined by the interval parameters of the control system. According to the definition rules and composition forms of interval parameters in

characteristic polynomials, according to the uncertainty types of interval parameters, they are divided into the following forms: interval, affine or polynomial.

Interval uncertainty - This is a type of uncertainty with simpler operations.

For example, interval polynomials can be expressed as follows:

$$P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] \cdot s^i, \quad \underline{a}_i \leq a_i \leq \bar{a}_i, \underline{a}_i > 0$$

Affine uncertainty polynomial - when there are several interval parameters (addition or subtraction) that together affect the coefficients of the polynomial.

For example, the multi-order form of affine uncertainty can be expressed as:

$$P(s) = \{P(s, q) = \sum_{i=0}^n [a_i(q)] \cdot s^i = P_0 + q_1 \cdot P_1(s) + \dots + q_n \cdot P_n(s)\}$$

$$q \in Q^0, Q^0 = \{q \mid q_i \in [\underline{q}_i, \bar{q}_i], i = 1, \dots, m\}$$

There are t interval parameters q ; each interval parameter is contained in a first-order polynomial, and each polynomial coefficient consists of adding and subtracting several interval parameters.

It can be concluded that the affine uncertainty is obtained by adding or subtracting the interval coefficients of the interval uncertainty, but the coefficient of the polynomial is still 1. For multi-linear or multi-linear uncertainty, compared with interval uncertainty and affine uncertainty, the coefficient of the polynomial is greater than 1, which is obtained by the product of interval parameters.

In real situations, the most difficult problem we face is the nonlinear dependence of the coefficients of the polynomial on the interval parameters in indefinite polynomial systems. When analyzing the problem, we can use the rule of interval arithmetic to reduce any type of uncertainty to interval uncertainty for calculation according to the composition of the type of uncertainty, in order to increase the efficiency of the calculations.

Affine arithmetic is proposed to overcome the disadvantages of too conservative interval arithmetic. Since the interval obtained using interval arithmetic operations is often much larger than the actual range, in the literature [8] it is

proposed to record the relationship between various undefined quantities based on affine arithmetic. It is thanks to this additional information that the results obtained using affine arithmetic are larger. Interval arithmetic is much more compact.

Since affine uncertainty can be viewed as adding multiple interval uncertainties, affine uncertainty and interval uncertainty can be transformed into each other.

For example, interval parameter: $[a] = [-1; +1]$, interval arithmetic: $[a] - [a] = [-2; +2]$, in fact, no matter what value $[a]$ takes, $[a] - [a]$ is always 0. This is precisely because there is a correlation between operations, and interval arithmetic ignores this correlation, which makes the calculation result conservative. If affine arithmetic is used, the result is also 0. It can be seen that affine arithmetic can to some extent overcome the conservatism of interval arithmetic.

Consequently, affine uncertainty is of greater research value when there is a certain relationship and interdependence between the parameters of the interval.

2. Stability and distinction of interval polynomials

2.1 Basic concepts and designations of the mapping of the parametric polyhedron

In order to study the robust stability of systems with interval uncertainties, we use the Kharitonov theorem proposed earlier. In an automated control system with interval uncertainty, the characteristic polynomial is usually expressed in the following form:

$$P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] \cdot s^i, \quad \underline{a}_i \leq a_i \leq \bar{a}_i, \underline{a}_i > 0 \quad (2.1)$$

The theorem is composed of the following four polynomials, among which the polynomial coefficients are composed of extreme values. They alternate in this way - two lower , values - two upper ones:

$$\begin{aligned} P_1(S) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1 s^2 + \bar{a}_2 s^2 + \bar{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_2(S) &= \bar{a}_0 + \underline{a}_1 s^2 + \underline{a}_2 s^2 + \bar{a}_3 s^3 + \dots; \\ P_3(S) &= \bar{a}_0 + \bar{a}_1 s^2 + \underline{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s^3 + \dots; \end{aligned} \quad (2.2)$$

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

These polynomials are called Kharitonov polynomials [9]. This theorem appeared earlier and was proposed by the scientist Kharitonov. This theorem is called Kharitonov's theorem. The theorem basically states that the stability of an interval polynomial is equivalent to the stability of a four-vertex polynomial. To ensure robust stability of interval parameters, it is necessary and sufficient that the Kharitonov polynomial be stable.

If the characteristic polynomial contains m interval coefficients, these coefficients can usually form a parametric polyhedron. For example, for a second-order polynomial, the stability of the system operation is determined by the following three interval parameters: $[a_2]$, $[a_1]$ and $[a_0]$. From this we can draw a conclusion that whether the operating system is ultimately stable can be judged by the polygon formed by the parameters in the three-dimensional space.

With a definition, it can be concluded that the number of sides of a parameter polyhedron obtained by an automatic control system with interval uncertainty can be expressed as:

$$N = m \cdot 2^{m-1} \quad (2.3)$$

where N is the number of edges of the parametric polyhedron, m is the number of interval parameters.

For example, when there are two interval parameters (parameters affecting the system from the outside world) in the control system, the parameter polyhedron of the system constitutes a square with $N = 2 \cdot 2^{2-1} = 4$ edges; with three interval parameters - a cube with $N = 3 \cdot 2^{3-1} = 12$ edges.

As shown in Figure 1, the form of the parameter polyhedron obtained by the system with three interval parameters in space is:

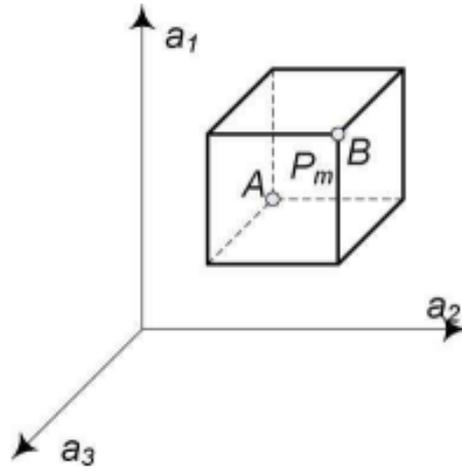


Figure 1 - Parametric polyhedron P_m

The points P_m have coordinates relative to the vertex V_q , $q = \overline{1, 2^m}$, which are determined by the expressions:

$$a_i = a_i^q + \Delta a_i, i = \overline{1, n}, \quad (2.4)$$

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

where Δa_i represents the increment of the i -th parameter in the interval parameter, and a_i^q is the value obtained at the vertex V_q .

Let the parametric $\gamma M(s) + (1 - \gamma)N(s)$ be given, where $0 \leq \gamma \leq 1$. Then, for robust stability of the polynomials given by the polytope P_m , the stability of its edge polynomials is necessary and sufficient. This theorem is valid in this case and is called edge. Allows you to check robust stability if the number m of undefined coefficients is small.

Suppose the parameter $\gamma M(s) + (1 - \gamma)N(s)$ is set, where $0 \leq \gamma \leq 1$. When the stability of the control system is judged by the polynomial P_m , if you want to obtain a stable system, the stability of the marginal polynomial needs to meet sufficient and necessary conditions. This theorem is called the boundary theorem. If the number of variable parameters m is small, then robust stability can be quickly checked.

Therefore, in order to quickly obtain the stability of the system, it is enough to only check the edge position formed by the heel of the characteristic polynomial obtained by the system.

The vertex V_q mapping of the polyhedron can get U_q . Figure 2 shows the image formed by the characteristic polynomial P_m on the complex root plane. Among them, the complex conjugate roots are located in the upper and lower quadrants, and are simultaneously affected by the polyhedron P_m .

Interval uncertainty satisfies the situation at the moment, that is, when analyzing the system of interval uncertainty, it is necessary to take into account only the vertices of the characteristic polynomial.

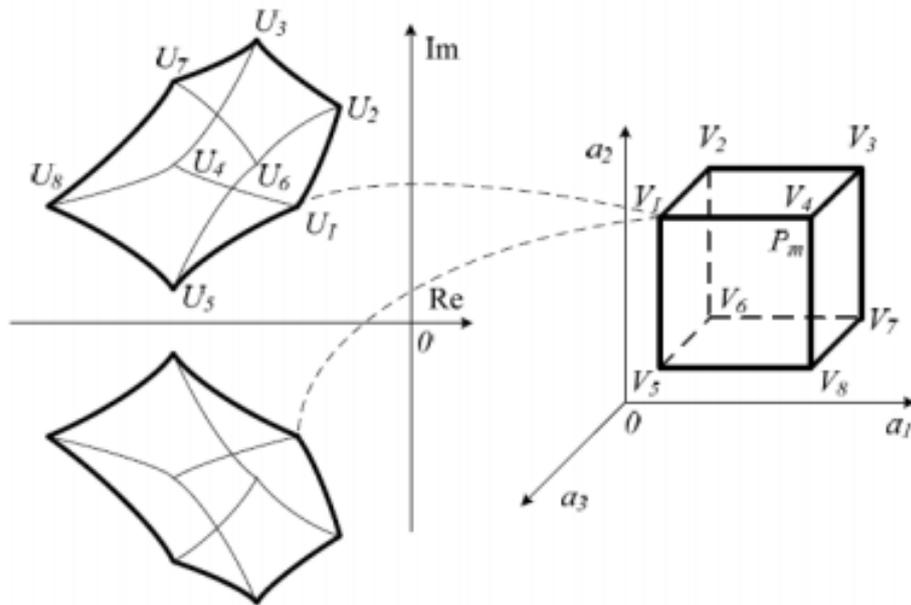


Figure 2 - Display of vertices of a parametric polyhedron

We usually use R_q as the edge of the interval polynomial. In $i = \overline{1, m}$, m represents the number of interval coefficients, and q represents the ordinal number of the vertices of the polyhedron. RS_i^q represents the image of the edge root. The edge polynomial P_m can be expressed as shown in the figure 3.

Affine uncertainty satisfies the situation at this time, that is, when an affine uncertain system is analyzed, the worst root quality of the system is in the edge of the characteristic polynomial.

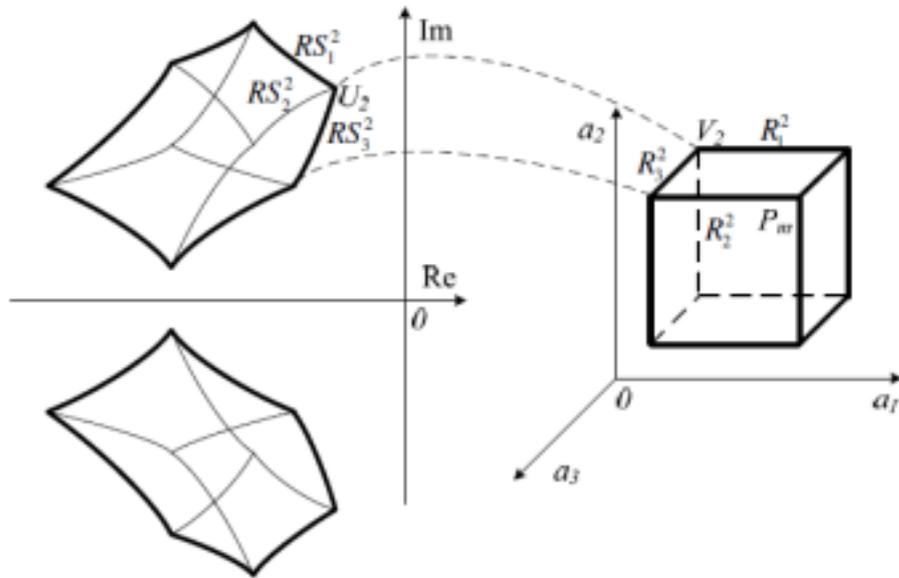


Figure 3 - Displaying of edges of a parametric polyhedron

By definition, any face of the polytope P_m is a rectangle on the plane of variation of two interval coefficients from one vertex. The faces of the interval polynomial are denoted by $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}, i \neq j$, q is the ordinal number of the vertex. The images of the faces are denoted as RS_{ij}^q (Figure 4)

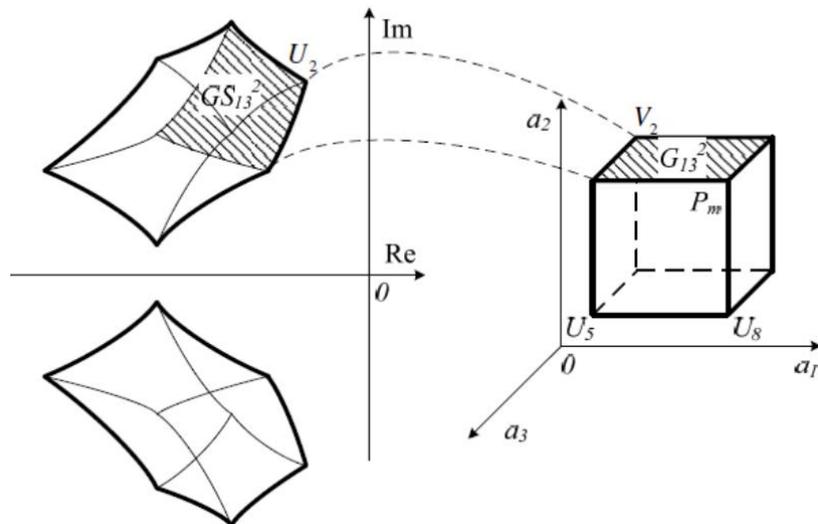


Figure 4 - Displaying the facets of a parametric polyhedron

2.2 Assessment of the quality index

The basic quality assessment of a fixed system usually takes the degree of stability η and the degree of vibration μ as indicators and evaluates whether the automatic control system is stable according to its maximum degree of vibration and minimum degree of stability. [12] They are determined by the polynomial roots

obtained by the closed system on the complex plane. Oscillation is determined by limiting the area Γ between two rays that emanate from the axis of the Cartesian plane and cover all the roots. The angle between the ray and the real axis can be obtained by a parameter (Figure 5). $\varphi = \arctan(\mu)$:

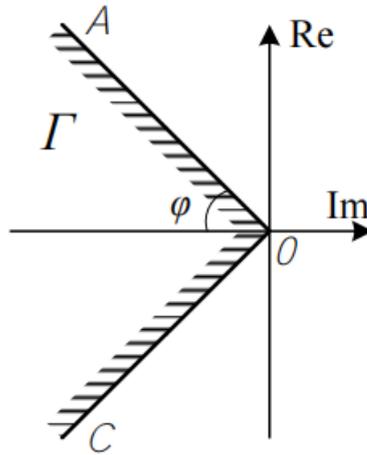


Figure 5 - Area of localization of roots with a given maximum oscillation

Having drawn a vertical line parallel to the ordinate axis (the root closest to the imaginary axis), we see that the root region Γ is separated. At this time, it can be seen that the minimum stability is fixed, that is, the area Γ to the axis Distance is equal to η (Figure 6).

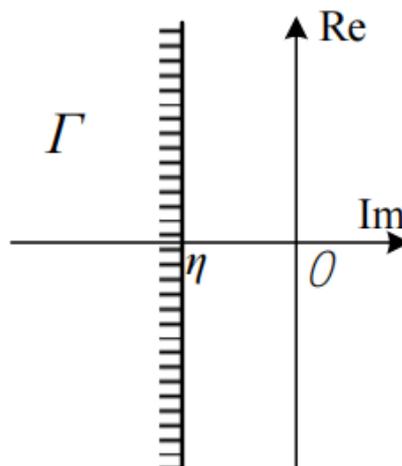


Figure 6 - Area of localization of roots with a given minimum degree of stability

Therefore, combining Fig. 5 and fig. 6, we can obtain a fan-shaped region in which the maximum allowable vibration Γ and the minimum allowable stability η (Figure 7) can be achieved respectively.

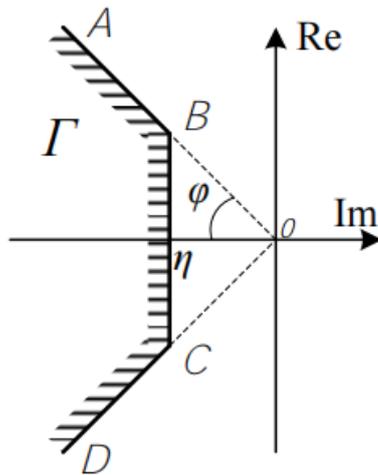


Figure 7 - The area where the root of the parameter feature polyhedron needs to be located

The boundary obtained at this time can be approximated by the hyperbolic method. Then you can see that the sector is formed by two asymptotes $y = \pm \frac{b}{a}x$, the slope of the asymptote is $\mu = \text{tg}\varphi = \pm \frac{b}{a}$, where a and b are hyperbolic images described by the equation $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$. For $a = \eta$, the region boundary is shown in the figure (Figure 8):

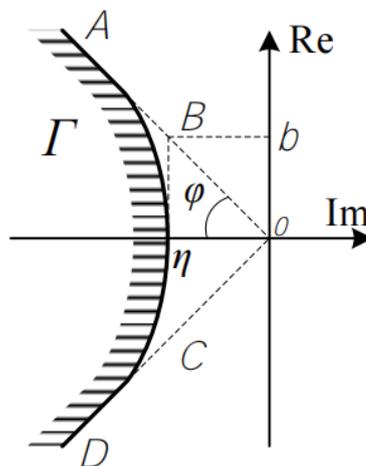


Figure 8 - Approximated area of the desired root localization