

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 – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 ООП Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Корневые методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами

УДК 681.516.7

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Люд Бовэнь		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.И.	д.т.н.		

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман А.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда

Код компетенции	Наименование компетенции
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы

Код компетенции	Наименование компетенции
	разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в

Код компетенции	Наименование компетенции
	практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их

Код компетенции	Наименование компетенции
	резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством
ПК(У)-19	способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций
ПК(У)-21	способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные

Код компетенци и	Наименование компетенции
	технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

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 – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Громаков Е. И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
158Т92	Люй Бовэнь

Тема работы:

Корневые методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	33-43/С от 02.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	09.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Системы автоматического управления: подъемники с длинными канатами, прокатные станы, антенные системы, металлорезающие и обрабатывающие станки, промышленные роботы. Интервально-неопределенные параметры САУ: суммарный момент инерции на валу двигателя, параметры упругой связи между валом двигателя и механизмом, сопротивление корной цепи, параметры тиристорного преобразователя.

<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Математическое описание САУ с интервально-неопределенными параметрами</p> <p>2. Вершинный анализ робастной устойчивости при интервальной неопределенности коэффициентов характеристического полинома</p> <p>3. Анализ робастной устойчивости систем с интервальной и аффинной неопределенностью на основе на основе реберной теоремы</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
---	--

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Сечин Александр Иванович, профессор ООД ШБИП, д.т.н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.т.н.

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	02.02.2023
--	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский С.А.	к.т.н.		02.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Люй Бовэнь		02.02.2023

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 (ООП)– Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
158Т92	Люй Бовэнь

Тема работы:

Корневые методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	10.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2023 г.	Основная часть ВКР	60
30.05.2023 г.	Раздел «Социальная ответственность»	20
30.05.2023 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский С.А.	к.т.н.		02.02.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е. И.	к.т.н.		02.02.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Люй Бовэнь		02.02.2023

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 75 с., 13 рисунка, 23 таблиц, 33 источников.

Ключевые слова: Корни характеристического полинома; Интервальные коэффициенты полинома; Реберная теорема; Вершинные многогранники коэффициентов; Корневые показатели робастного качества.

Объектом исследования является Система третьего порядка, нам нужно судить об устойчивости системы и нарисовать параметрический многоугольник системы.

Целью работы является корневые методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами.

В процессе исследования проводились оценка устойчивости системы, рисование параметрических многоугольников, Рисунок корневого локуса.

Результатом исследования является то, что вершины параметрических многоугольников системы находятся в устойчивом состоянии, и система также находится в устойчивом состоянии.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Это исследование представляет собой теоретическое исследование, в основном анализирующее устойчивость надежных систем и значение параметрических многоугольников.

Область применения: Смежные области автоматического управления.

Экономическая эффективность/значимость работы: Изучение устойчивости может позволить машинам работать плавно в нестабильных условиях и снизить количество несчастных случаев.

В будущем эта технология будет применяться в различных областях машиностроения.

Содержание

Введение.....	14
Определения, обозначения, сокращения	17
1. Математическое описание САУ с интервально-неопределенными параметрами.....	19
1.1 Получение интервального характеристического полинома	20
1.2 Виды интервальных характеристических полиномов	21
1.3 Свойства отображения многогранника интервальных параметров на корневую плоскость.....	23
2. Вершинный анализ робастной устойчивости при интервальной неопределенности коэффициентов характеристического полинома	24
2.1 Вершинная теорема робастной устойчивости	24
2.2 Существенные вершины для определения степени робастной колебательной устойчивости	25
2.3 Существенные вершины для определения степени робастной апериодической устойчивости.....	27
3. Анализ робастной устойчивости систем с интервальной и аффинной неопределенностью на основе реберной теоремы.....	31
3.1 Реберная теорема робастной устойчивости	31
3.2 Построение однопараметрического интервального корневого годографа	32
3.3 Построение двухпараметрического интервального корневого годографа	33
3.4 Построение многопараметрических корневых годографов при интервальной и аффинной неопределенностях.....	34
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	40
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	40
4.2 SWOT-анализ.....	42

4.3	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	45
4.4	Планирование научно-исследовательских работ	46
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	50
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	50
4.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	51
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	52
4.4.4	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	54
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности исследования.....	54
5.	Социальная ответственность	59
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	59
5.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	59
5.2	Производственная безопасность	60
5.2.1	Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	61
5.2.2	Обоснование мероприятий по снижению воздействия	61
5.3	Экологическая безопасность.....	64
5.3.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	64
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	65
5.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	65
5.4.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	66
	Заключение	70
	Список источников литературы	72

Введение

Робастное управление в автоматической системе имеет целью обеспечить приемлемое качество работы системы, даже когда точные значения параметров математической модели управляемого объекта неизвестны. Другими словами, робастность подразумевает незначительные изменения выходных характеристик замкнутой системы управления при изменении параметров управляемого объекта. Системы, которые обладают этим свойством, называются робастными или грубыми системами управления.

В ситуациях, когда у нестабильных параметров объекта известны интервалы их возможного изменения и известны выражения содержащих эти параметры коэффициентов характеристического полинома системы, тогда можно говорить о ее интервальном характеристическом полиноме (ИХП) [1].

Интервальный полином $p(s)$ системы устойчив, если он устойчив при любых значениях интервальных параметров, входящих в коэффициенты полинома. В случае применения корневого метода анализа робастной устойчивости это требование означает, что все корни интервального полинома лежат в левой полуплоскости [2]. При этом интервальная система характеризуется показателями робастного качества: минимальной (робастной) степенью устойчивости η и максимальной (робастной) степенью колебательности μ . Робастная степень устойчивости определяется наиболее близкими к мнимой оси корнями ИХП. Робастная степень колебательности определяется корнями ИХП, образующими максимальный сектор, в котором лежат все корни ИХП.

Важность робастной устойчивости выделяется во многих областях, где системы управления и контроля играют ключевую роль. Вот несколько аспектов, демонстрирующих важность робастной устойчивости.

1. Устойчивость в присутствии неопределенностей: Реальные системы обычно сталкиваются с неопределенностью в виде изменений параметров, вариаций внешних условий или воздействий случайных шумов. Робастная устойчивость позволяет системе сохранять свою стабильность даже при таких нео

пределенностях, обеспечивая надежное функционирование и предотвращая потенциальные аварийные ситуации[3].

2. Соппротивление возмущениям: Внешние возмущения могут серьезно повлиять на работу системы управления и вызвать нежелательные отклонения. Робастная устойчивость позволяет системе справляться с такими возмущениями, минимизируя их влияние и поддерживая стабильное функционирование системы в различных условиях.

3. Гарантия безопасности: Важным аспектом во многих областях, таких как автоматизированные транспортные системы, медицинская техника или энергетика, является обеспечение безопасности. Робастная устойчивость позволяет системе удерживать безопасное состояние даже при возникновении сбоев, нештатных ситуаций или внешних воздействий, защищая как систему, так и окружающих людей и ресурсы.

4. Адаптация к изменениям: В динамическом окружении системы могут подвергаться изменениям, например, в связи с эволюцией требований, внедрением новых технологий или изменением рабочей среды. Робастная устойчивость обеспечивает гибкость и способность системы адаптироваться к таким изменениям, сохраняя свою устойчивость и эффективность.

5. Минимизация рисков и потерь: Робастная устойчивость помогает минимизировать риски и потери, связанные с возможными сбоями или непредвиденными ситуациями[4]. Это особенно важно в критических областях, таких как авиация, финансы или промышленность, где даже небольшие отклонения могут иметь серьезные последствия.

Исследования робастной устойчивости имеют большое значение для развития новых методов и подходов, которые обеспечивают стабильность и надежность.

Робастная устойчивость позволяет оценить, как система будет вести себя в присутствии неопределенности и вариаций параметров.

Основное преимущество робастной устойчивости состоит в том, что она позволяет учесть неопределенности и возможные отклонения в реальных системах. Это особенно важно для систем управления, которые подвержены внешним возмущениям, шумам и изменениям в рабочей среде.

робастная устойчивость является важным аспектом проектирования и анализа систем управления[5]. Она позволяет создавать устойчивые системы, способные справляться с неопределенностями и вариациями в параметрах.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

оптимизация: Подбор параметров системы, обеспечивающих её наилучшее функционирование согласно принятому критерию качества[6].

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

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

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

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

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

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

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

Автоматизация: автоматическое управление объектом или процессом.

В данной работе применены сокращения:

ИС – интервальная система;

ИХП – интервальный характеристический полином;

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

ПМ – параметрический многогранник.

1. Математическое описание САУ с интервально-неопределенным и параметрами

В модели, построенной для системы, всегда есть неопределенные факторы. Неопределенность системы имеет два источника: один - извне системы, проявляющийся в виде непредсказуемых помех; другой - изнутри системы, часто из-за неясного понимания законов работы системы, существует разрыв между моделью и реальной системой отклонения или неопределенности из-за упрощенных системных моделей. Поэтому никакая физическая система не может быть представлена точной математической моделью. По этой причине важно знать, как ошибки моделирования могут отрицательно сказаться на производительности системы управления.

Системы автоматического управления (САУ) с интервально-неопределенными параметрами можно описать математически в виде интервальной системы уравнений[7].

Допустим, у нас имеется динамическая система с параметрами, заданными в виде интервалов, которую можно описать следующим уравнением:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

где x - вектор состояния системы;

u - вектор управляющего воздействия;

A и B - матрицы параметров системы.

Параметры системы могут быть заданы интервально[8]. Например, матрица A может быть задана как $A = [a_{\min}, a_{\max}]$, где a_{\min} и a_{\max} - нижняя и верхняя границы интервала соответственно.

Таким образом, интервальная система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\dot{x} = [a_{\min}, a_{\max}]x + [b_{\min}, b_{\max}]u, \quad (2)$$

где $[a_{\min}, a_{\max}]$ и $[b_{\min}, b_{\max}]$ - интервалы, задающие матрицы A и B соответственно.

Для решения задач управления и анализа САУ с интервально-неопределенными параметрами применяются различные методы, такие как методы интервальной арифметики, методы надежности и др[9].

1.1 Получение интервального характеристического полинома

Вообще говоря, различные физические параметры управляемой системы не являются статичными. Из-за различных случайных возмущений некоторые физические параметры системы будут изменяться в определенном диапазоне, причем изменения часто носят нелинейный характер[10]. Поэтому система больше соответствует инженерной практике выражать некоторые параметры некоторых параметров интервальными значениями. При отражении на характеристическом полиноме системы коэффициент полинома больше не является константой, а некоторые или все коэффициенты будут интервальными. Этот тип многочлена называется интервальным полиномом.

Для системы управления устойчивость является важнейшим условием нормальной работы системы. Устойчивость характеристического полинома тесно связана с устойчивостью динамической системы или системы управления, поэтому устойчивость полинома всегда была важной темой. для исследователей в области математики, механики и теории управления[11]. Вообще говоря, различные физические параметры управляемой системы не являются статичными. Из-за различных случайных возмущений некоторые физические параметры системы будут изменяться в определенном диапазоне, причем изменения часто носят нелинейный характер. Поэтому система более соответствует инженерной практике выражать некоторые параметры интервальными значениями.

Если коэффициенты характеристических полиномов системы принимают любое значение в определенном диапазоне, все характеристические полиномы стабильны, что означает, что система обладает сильной защитой от помех (то есть устойчивой устойчивостью) [12]. Поэтому очень важно изучать устойчивость интервальных многочленов.

Так называемый интервальный многочлен относится к многочлену, коэффициенты которого изменяются в пределах определенного интервала.

В зависимости от типа значений полиномиальных коэффициентов, интервальные полиномы можно разделить на интервальные полиномы с действительными коэффициентами и интервальные полиномы с комплексными коэффициентами[13]. Методы определения устойчивости этих двух типов обычно различаются. Общая форма интервального многочлена с действительными коэффициентами:

$$f(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i, a_i \in [\underline{a}_i, \overline{a}_i], \quad (3)$$

где n-порядок системы;

$\underline{a}_i, \overline{a}_i$ - максимальное и минимальное значения параметров соответственно.

Полином интервальной характеристики комплексного коэффициента имеет вид:

$$p(s) = \sum_{i=0}^n (a_i + j b_i) s^i, a_i \in [\underline{a}_i, \overline{a}_i], b_i \in [\underline{b}_i, \overline{b}_i], \quad (4)$$

где n-порядок системы;

$\underline{a}_i, \overline{a}_i$ - максимальное и минимальное значения параметров соответственно;

$\underline{b}_i, \overline{b}_i$ - максимальное и минимальное значения параметров соответственно;

j-мнимая единица.

1.2 Виды интервальных характеристических полиномов

Есть несколько типов неопределенности: интервал, аффинный и полином.

Неопределенность между интервалами-самая простая форма[14]. Например, полином интервала может быть определен следующим образом:

$$P(s) = \left\{ P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] s^i : \underline{a}_i \ll a_i \ll \overline{a}_i, \underline{a}_n > 0 \right\}, \quad (5)$$

Где n-порядок системы;

$\underline{a}_i, \overline{a}_i$ - максимальное и минимальное значения параметров соответственн

о.

В этом случае параметры интервала — это сам коэффициент полинома. Однако этот феномен является редким, так как коэффициент многочленов обычно является абстрактным.

Аффинная неопределенность — это способ объяснить влияние нескольких параметров интервала на коэффициент каждого полинома. Аффинное определение многочленов следующим образом:

$$P(s) = \{P(s, q) = P_0 + q_1 \cdot P_1(s) + \dots + q_l \cdot P_l(s), q \in Q\}, \quad (6)$$

Где q_n -коэффициент;

l-порядок системы.

Для множественной линейной неопределенности коэффициент линейности полинома зависит от каждого параметра при условии, что остальные параметры фиксированы (т.е. параметры интервала могут быть включены в коэффициент в форме произведения).

В случае многочленной неопределенности коэффициент полинома зависит от одного параметра (т.е. параметра интервала повышается до различных степеней).

Примечательно, что характерные полиномы фактической автоматической системы управления обычно имеют многолинейную или многочленную неопределенность[15]. Автоматические системы управления с характерной аффинной неопределенностью не часто встречаются.

Автоматические системы управления с характерной многочленной неопределенностью являются чрезвычайно редкими случаями.

1.3 Свойства отображения многогранника интервальных параметров на корневую плоскость

Для изучения автоматической системы управления с характерными характеристиками интервала, часто применяющей методы, основанные на анализе корня, для определения стабильности стержней различных неопределенностей [16]. В этом методе многогранник P , состоящий из параметров интервала, отображается на комплексной плоскости. Пример этого отображения показан на рисунке 1.

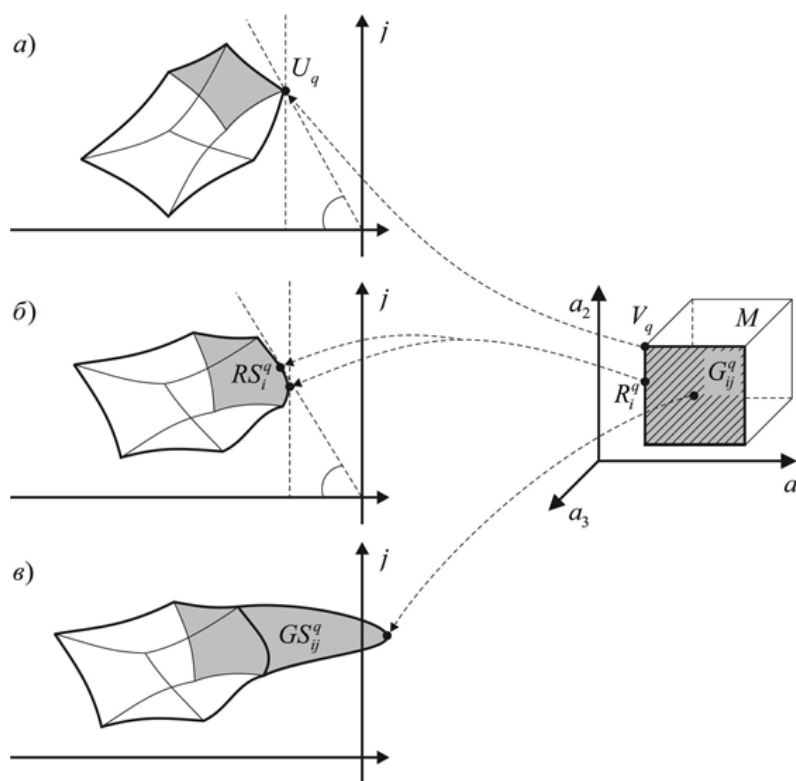


Рисунок 1 – Отображение параметрических многогранников

Рисунок 1 показывает, что в связи с неопределенностью между характеристическими полиномами коэффициента интервала, проблема с базовыми показателями качества системы автоматического управления может быть решена с помощью анализа только вершин многогранника P [17].

В случае аффинной неопределенности ИХП, робастная устойчивость САУ определяется образами внутренних точек ребер многогранника интервальных параметров [18]. Поэтому для оценки показателей робастного качества можно использовать реберную теорему. Согласно этой теореме, для анализа роб

астного качества САУ необходимо отобразить на корневую плоскость все ребра многогранника интервальных параметров системы.

В случае наличия множественной линейной или многочленной неопределенности можно определить показатель качества стержня с помощью наличия прототипа корня в полиэдре P . Однако, чтобы определить эти показатели, необходимо показать весь параметрический многогранник P , что может быть довольно трудным. Для облегчения этой задачи многолинейная или многочленная неопределенность может быть преобразована в аффинную или межпространственную неопределенность [19]. Это достигается путем замены компонентов, содержащих параметры интервала, на новые параметры интервала. Для выполнения такого преобразования были применены простые правила алгоритма интервала.

2. Вершинный анализ робастной устойчивости при интервальной неопределенности коэффициентов характеристического полинома

2.1 Вершинная теорема робастной устойчивости

Вершинный анализ робастной устойчивости ИХП при интервальной неопределенности его коэффициентов основан на вершинной теореме, согласно которой робастная степень устойчивости и робастная степень колебательности ИХП определяются определенными вершинами многогранника интервальных коэффициентов ИХП. Такие вершины называются существенными (рисунок 2) [20].

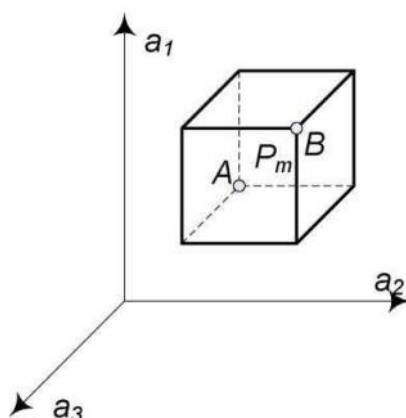


Рисунок 2 – Параметрический многогранник

Пусть U_q обозначает вершину V_q в параметрическом многограннике. На следующем рисунке показано изображение вершин параметрического многогранника на комплексной плоскости [22]. Корни, являющиеся комплексно-сопряженными, располагаются в двух областях, и образы этих двух областей подвержены влиянию P_m (рисунок 3).

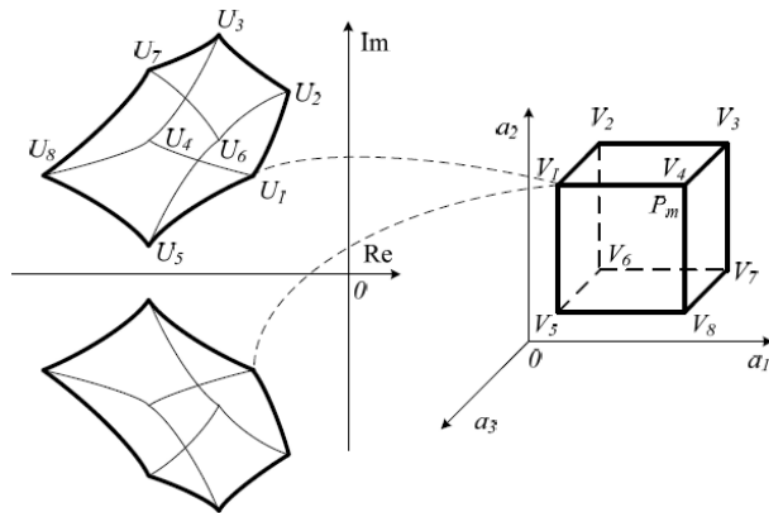


Рисунок 3 – Отображение вершин параметрического полигона

2.2 Существенные вершины для определения степени робастной колебательной устойчивости

Заметим, что степень колебательной устойчивости обеспечивает устойчивый колебательный переходный процесс в САУ и определяется наиболее близкой к мнимой оси парой комплексно-сопряженных полюсов системы [23].

Основой для определения вершин многогранника интервальных коэффициентов, образами которых могут быть полюса, определяющие степень робастной устойчивости САУ, является основное фазовое соотношение теории корневого годографа [24]. Если порядок ИХП $n=2$, то два определяющих степени робастной колебательной устойчивости комплексно-сопряженных полюса являются образами двух существенных вершин с координатами $V_1 = \overline{a_0} \underline{a_1} \overline{a_2}$, $V_2 = \underline{a_0} \overline{a_1} \underline{a_2}$ [25]. Данные вершины задают два существенных вершинных полинома для нахождения степени робастной колебательной устойчивости:

$$\begin{aligned}
A_1(s) &= \overline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s + \overline{a_0}; \\
A_2(s) &= \overline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s + \underline{a_0}.
\end{aligned} \tag{6}$$

При $n=3$ таких существенных вершин три и они имеют координаты $V_1 = \overline{a_0}\underline{a_1}\overline{a_2}\underline{a_3}$, $V_2 = \overline{a_0}\underline{a_1}\underline{a_2}\overline{a_3}$, $V_3 = \overline{a_0}\overline{a_1}\overline{a_2}\overline{a_3}$. Им соответствуют три вершинных полинома:

$$\begin{aligned}
A_1(s) &= \underline{a_3}s^3 + \overline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s + \overline{a_0}; \\
A_2(s) &= \overline{a_3}s^3 + \underline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s + \overline{a_0}; \\
A_3(s) &= \overline{a_3}s^3 + \overline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s + \overline{a_0}.
\end{aligned} \tag{7}$$

При $n=4$ число существенных вершин возрастает до восьми:

$V_1 = \overline{a_0}\underline{a_1}\overline{a_2}\underline{a_3}\underline{a_4}$; $V_2 = \overline{a_0}\overline{a_1}\underline{a_2}\overline{a_3}\underline{a_4}$; $V_3 = \overline{a_0}\underline{a_1}\underline{a_2}\overline{a_3}\underline{a_4}$; $V_4 = \overline{a_0}\underline{a_1}\underline{a_2}\overline{a_3}\overline{a_4}$; $V_5 = \overline{a_0}\underline{a_1}\overline{a_2}\overline{a_3}\underline{a_4}$; $V_6 = \overline{a_0}\overline{a_1}\underline{a_2}\underline{a_3}\overline{a_4}$; $V_7 = \overline{a_0}\overline{a_1}\underline{a_2}\overline{a_3}\underline{a_4}$; $V_8 = \overline{a_0}\underline{a_1}\overline{a_2}\underline{a_3}\overline{a_4}$. Этим вершинам соответствуют восемь вершинных полиномов:

$$\begin{aligned}
A_1(s) &= \underline{a_4}s^4 + \underline{a_3}s^3 + \overline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s^1 + \overline{a_0}; \\
A_2(s) &= \overline{a_4}s^4 + \overline{a_3}s^3 + \underline{a_2}s^2 + \overline{a_1}s^1 + \overline{a_0}; \\
A_3(s) &= \underline{a_4}s^4 + \overline{a_3}s^3 + \underline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s^1 + \overline{a_0}; \\
A_4(s) &= \overline{a_4}s^4 + \overline{a_3}s^3 + \underline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s^1 + \overline{a_0}; \\
A_5(s) &= \underline{a_4}s^4 + \overline{a_3}s^3 + \overline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s^1 + \overline{a_0}; \\
A_6(s) &= \overline{a_4}s^4 + \underline{a_3}s^3 + \underline{a_2}s^2 + \overline{a_1}s^1 + \overline{a_0}; \\
A_7(s) &= \underline{a_4}s^4 + \overline{a_3}s^3 + \underline{a_2}s^2 + \overline{a_1}s^1 + \overline{a_0}; \\
A_8(s) &= \overline{a_4}s^4 + \underline{a_3}s^3 + \overline{a_2}s^2 + \underline{a_1}s^1 + \overline{a_0}.
\end{aligned} \tag{8}$$

2.3 Существенные вершины для определения степени робастной апериодической устойчивости

Степень апериодической устойчивости обеспечивает устойчивый апериодический переходный процесс в САУ и определяется наиболее близким к мнимой вещественным полюсом системы.

В установлено, что степень робастной апериодической устойчивости системы любого порядка определяется вершиной $\underline{a_0} \overline{a_1} \underline{a_2} \overline{a_3} \underline{a_4} \dots$

Числовые примеры

Заранее неизвестно, какие полюса САУ (комплексно-сопряженные или вещественный) находятся ближе всего к мнимой оси. Поэтому для определения степени робастной устойчивости САУ следует найти ее полюса во всех существенных вершинах[26].

Пример 1. Пусть ИХП системы имеет вид:

$$D(s) = [d_3]s^3 + [d_2]s^2 + [d_1]s + [d_0] ,$$

$$\text{Где}[d_3] = [0.03; 0.04];$$

$$[d_2] = [0.9; 1.1];$$

$$[d_1] = [80; 100];$$

$$[d_0] = [250; 350].$$

Для определения степени робастной устойчивости ИХП найдены и приведены в таблице 1 корни существенных вершинных полиномов.

Таблица 1 – Значения корней существенных вершинных полиномов

Вершинный полином	Значения корней		
	S ₁	S ₂	S ₃
A ₁ (s)	-4.63	-16+j47.55	-16-j47.55
A ₂ (s)	-4.56	-8.97+j42.87	-8.97-j42.87
A ₃ (s)	-4.61	-11.44+j41.99	-11.44-j41.99
A(s)	-2.55	-9.97+j48.47	-9.97-j48.47

Из полученных значений корней видно, что САУ имеет степень робастной аperiodической устойчивости, определяемую корнем полинома $A(s)$, $S_1 = -2.55$.

Пример 2. Задан ИХП:

$$D(s) = [d_3]s^3 + [d_2]s^2 + [d_1]s + [d_0],$$

$$\text{где } [d_3] = [82; 176];$$

$$[d_2] = [587.25; 635]; [d_1] = [717.5; 850];$$

$$[d_0] = [450; 1000].$$

Для изучения уровня робастной устойчивости данного интервального характеристического полинома были найдены и представлены в таблице 2 значения корней важных вершинных полиномов.

Таблица 2 – Значения корней существенных вершинных полиномов

Вершинный полином	Значения корней		
	S_1	S_2	S_3
$A_1(s)$	-6.7108	-0.5165+j1.2452	-0.5165-j1.2452
$A_2(s)$	-2.6088	-0.3639+j1.4302	-0.3639-j1.4302
$A_3(s)$	-2.8774	-0.3653+j1.3569	-0.3653-j1.3569
$A(s)$	-1.1403+j1.0587	-1.1403-j1.0587	-1.0560

Из таблицы 2 следует, что ИХП имеет степень робастной колебательно устойчивости, определяемую корнями полинома $A_2(s)$ $S_{2,3} = -0.3639 \pm j1.4302$, являющимися образами вершины $V_2 = \overline{a_0} \underline{a_1} \underline{a_2} \overline{a_3}$.

Пример 3. Рассмотрим ИХП четвертого порядка

$$D(s) = [d_4]s^4 + [d_3]s^3 + [d_2]s^2 + [d_1]s + [d_0],$$

$$\text{Где } [d_4] = [3000; 5256];$$

$$[d_3] = [12820; 15564];$$

$$[d_2] = [29888; 32854];$$

$$[d_1] = [25696; 33933];$$

$$[d_0] = [14400; 25920].$$

Для оценки уровня стабильности стержня необходимо вычислить корни восьми вершин и Один полином одной вершины. Результаты этих расчетов указаны в таблице 3.

Таблица 3 – значение корня базового полинома вершин

Вершинный полином	Значение корней			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
A ₁ (s)	-1.8501+j2.0706	-1.8501-j2.0706	-0.2866+j1.0191	-0.2866+j1.0191
A ₂ (s)	-1.2274+j0.8821	-1.2274-j0.8821	-0.2532+j1.4473	-0.2532+j1.4473
A ₃ (s)	-2.4092+j1.0640	-2.4092-j1.0640	-0.1848+j1.1007	-0.1848+j1.1007
A ₄ (s)	-1.3247+j1.2894	-1.3247-j1.2894	-0.1559+j1.1911	-0.1559+j1.1911
A ₅ (s)	-2.3827+j1.4690	-2.3827-j1.4690	-0.2113+j1.0286	-0.2113+j1.0286
A ₆ (s)	-0.2857+j1.6919	-0.2857-j1.6919	-0.9338+j0.8961	-0.9338+j0.8961
A ₇ (s)	-2.2332+j0.1757	-2.2332-j0.1757	-0.3608+j0.8961	-0.3608+j0.8961
A ₈ (s)	-0.8738+j1.7179	-0.8738-j1.7179	-0.3458+j1.0991	-0.3458+j1.0991
A(s)	-2.9013	-0.7612+j1.2591	-0.7612-j1.2591	-0.7642

Из таблицы 3 найдем $\eta = 0.1559$, определяющую степень робастной колебательной устойчивости системы в образе вершины $V_4 = \overline{a_0} \underline{a_1} \underline{a_2} \overline{a_3} \overline{a_4}$.

2.4 Существенные вершины для определения степени робастной колебательности

Степень робастной колебательности ИХП определяется парой его комплексно-сопряженных корней, образующих с началом координат сектор, в котором расположены области локализации всех корней ИХП[27].

Для САУ с ИХП второго порядка степень робастной колебательности определяется одной существенной вершиной $V_1(\overline{a_0} \underline{a_1} \overline{a_2})$.

Для системы третьего порядка степень робастной колебательности находится среди четырех вершин $V_1(\overline{a_0} \underline{a_1} \overline{a_2} \underline{a_3})$, $V_2(\overline{a_0} \underline{a_1} \overline{a_2} \overline{a_3})$, $V_3(\overline{a_0} \underline{a_1} \underline{a_2} \overline{a_3})$, $V_4(\overline{a_0} \overline{a_1} \underline{a_2} \overline{a_3})$.

Пример. Пусть задан ИХП $[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0$ с коэффициентами $[a_3] = [0.15; 0.5]$; $[a_2] = [1.72; 1.95]$; $[a_1] = [6.64; 6.94]$; $[a_0] = [8; 10]$. Для оценки уровня робастной колебательности были найдены значения корней интервального характеристического полинома в указанных важных вершинах. Анализ этих значений позволил определить, что степень робастной колебательности ИХП определяется корнями полинома $S_{1,2} = -0.755 \pm 3.13j$, являющимися образами вершины $V_2(\overline{a_0} \underline{a_1} \underline{a_2} \overline{a_3})$.

3. Анализ робастной устойчивости систем с интервальной и аффинной неопределенностью на основе реберной теоремы

3.1 Реберная теорема робастной устойчивости

Пусть задан полином $P(s,q)$, где $q \in Q$ является полиномом в многомерном множестве Q [28].

Теорема: Полином $P(s,q)$ робастно устойчив во всем неопределенном многограннике, если $P(s,q)$ устойчив по ребрам Q .

Иными словами, достаточно проверить на робастную устойчивость полином одного параметра для каждой пары вершин q^{i_1} и q^{i_2} из Q .

Реберная теорема значительно уменьшает количество множеств (или корневых областей), которые необходимо вычислить при оценке робастной устойчивости. В случае интервальной неопределенности с n неопределенными параметрами число вершин 2^n и ребер $n \cdot 2^{n-1}$.

Таблица 4 – Зависимость числа вершин и ребер от числа интервальных параметров

n	Вершины	Ребра
1	1	1
2	4	4
3	8	12
4	16	32
5	32	80
10	1024	5120
20	1048576	10485760

Сторона многогранника параметров представлена R_i^q , m - количеством интервальных коэффициентов, а q - порядком интервалов многоугольника параметров. Затем мы используем RS_i^q для представления изображения края, сопоставленного с комплексной плоскостью.

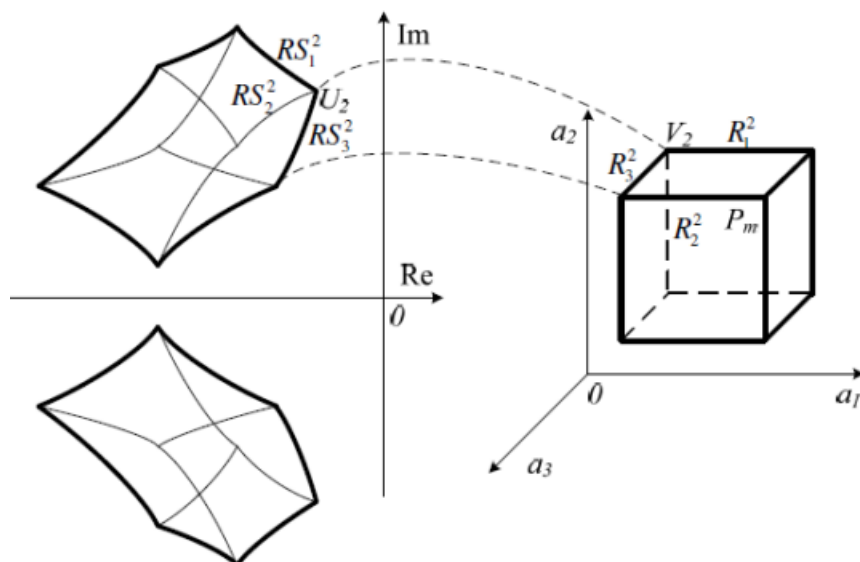


Рисунок 4 - отображение ребер параметрического многогранника

3.2 Построение однопараметрического интервального корневого дографа

Рассмотрим линеаризованную модель следящей системы для подъемного крана (рисунок 5).

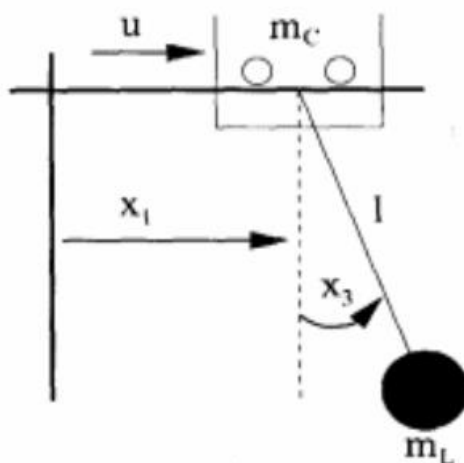


Рисунок 5 – Схема следящей системы подъемного крана

Характеристический полином замкнутой системы имеет вид:

$$\frac{600g}{lm_c} + \frac{2000g}{lm_c} s + \frac{1000+6000l+gm_c+gm_L}{lm_c} s^2 + \frac{2000}{m_c} s^3 + s^4, \quad (9)$$

Где $g=10$ - гравитационная постоянная, $m_c= 1000$ - масса тележки, $l=10$ - длина троса. Предположим, что m_L (масса груза) неизвестна точно и принадлеж

ит интервалу [50; 2395]. Попытаемся ответить на основной вопрос анализа робастной устойчивости: остается ли устойчивым полином (9) при всех допустимых значениях m_L ? Для этого построим корневой годограф на основе характеристического полинома. Подставив значения g, m_c, l в (10), получим

$$0.6 + 2s + (2.6 + 0.001m_L)s^2 + 2s^2 + s^4, \quad (10)$$

Построим интервальный корневой годограф для всех допустимых значений параметра m_L из интервала [50; 2395].

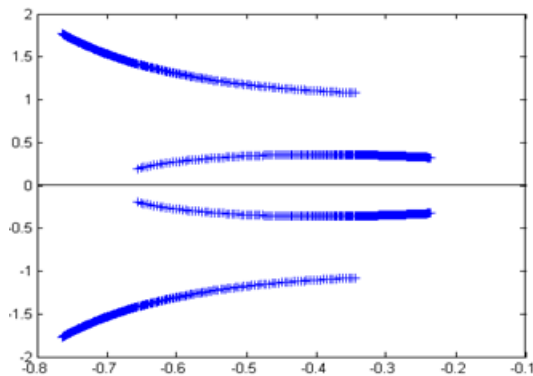


Рисунок 6 – Интервальный корневой годограф

Интервальный корневой годограф остается в левой полуплоскости, поэтому можно сделать вывод о том, что замкнутая система робастно устойчива. При этом по наиболее близким к мнимой оси корням годографа можно определить робастную (наименьшую) степень устойчивости системы и робастную (наибольшую) колебательность[29].

3.3 Построение двухпараметрического интервального корневого годографа

Теперь предположим, что длина каната так же неизвестна и нам необходимо изобразить 2-D (двухмерный) интервальный корневой годограф полинома. Подставив значения g, m_c в (11), получим

$$\frac{6}{k} + \frac{20}{l}s + \frac{0.6l+20+0.01m}{l}s^2 + 2s^3 + s^4, \quad (11)$$

Где $m_L \in [50, 2395]$;

$l \in [7, 12]$.

Полученный двухпараметрический интервальный корневой годограф п
оказан на рисунок 7.

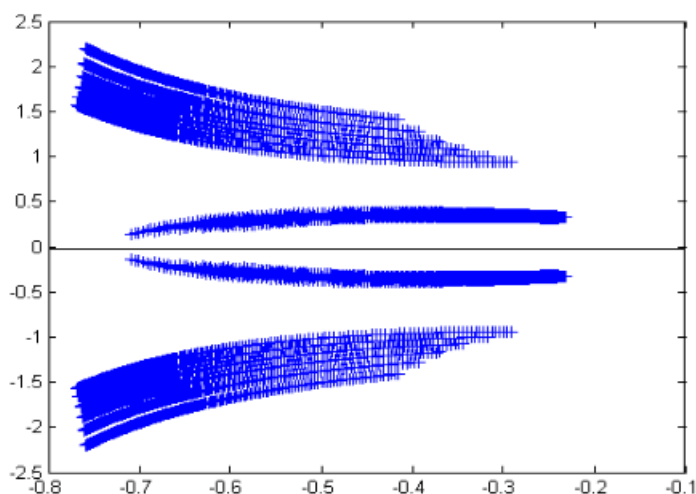


Рисунок 7 - Двухпараметрический корневой годограф

В данном случае замкнутая система также остается робастно устойчиво
й в силу расположения всех корней ИХП в левой полуплоскости[30].

3.4 Построение многопараметрических корневых годографов при и нтервальной и аффинной неопределенностях

Пусть задан ИХП с интервальными коэффициентами:

$$K[9.5,10.5] + [14,18]s + K[6,8]s^2 + s^3, \quad (12)$$

Интервальные коэффициенты полинома образуют многогранник (парал
лелепипед), содержащий 12 ребер. Зададим $K=1$ и отобразим 12 ребер многог
ранника интервальных коэффициентов на корневую плоскость.

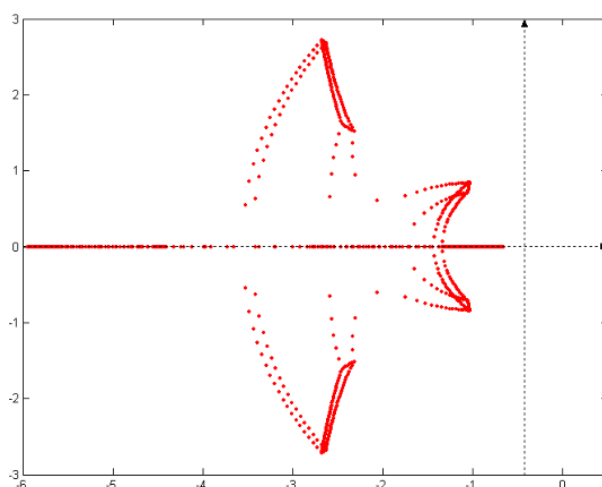


Рисунок 8 - Отображение ребер многогранника коэффициентов на корневую плоскость.

Пусть характеристический полином с аффинной интервальной неопределенностью имеет вид[31]:

$$\sum_{i=1}^m T_i \cdot A_i(s) + B(s) = 0, \quad (13)$$

$$T_i = T_i^{Vq} + \Delta T_i, i = \overline{1, m}, \quad (14)$$

$$(T_i - T_i^{Vq}) \leq \Delta T_i \leq (\overline{T}_i - T_i^{Vq}). \quad (15)$$

Отображением ребра ПМС является реберная ветвь корневого годографа а.

Рассмотрим применение реберной теоремы путем построения всех реберных ветвей ПМС на примере системы стабилизации натяжения троса с аффинной неопределенностью. Исходной информацией для решения поставленной задачи является характеристический полином системы[32]. Он имеет вид

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0, \quad (16)$$

$$\text{Где } [a_0] = [m]Ck_1r^2;$$

$$[a_1] = CJ + C[m]r^2 + k_1[m]r^2(x + TC);$$

$$[a_2] = Jx + x[m]r^2(1 + Tk_1); [a_3] = J[l][m].$$

Многогранник системы, зависящий от трех интервальных параметров, представлен восьмью вершинами:

$$V_1(50,50,2), V_2(500,50,5), V_3(500,50,10), V_4(50,50,10), V_5(50,50,5), V_6(50,100,5), V_7(500,100,10), V_8(50,100,10)$$

Первая координата соответствует значению, вторая - второй координате, а третья - третьей координате.

масса груза может изменяться в диапазоне 50кг $\ll m \ll$ 500кг, длина троса в диапазоне 5м $\ll l \ll$ 10м, k_1 – коэффициент усиления электрической части привода.

Подставляя в коэффициенты полинома значения постоянных параметров в объекта управления и интервалы изменяющихся параметров, получим ИХП в следующем виде:

$$0.5m[l]s^3 + ([k_1][m] + 5000 + 100[m])s^2 + 102[k_1][m] + 10000 + 200[m]s + 200[m][k_1], \quad (17)$$

На основании реберной теоремы отобразим ПМС на корневую плоскость с помощью пакета программ МАТКАД.

Вначале отобразим ребра ПМС, образованные изменением длины троса.

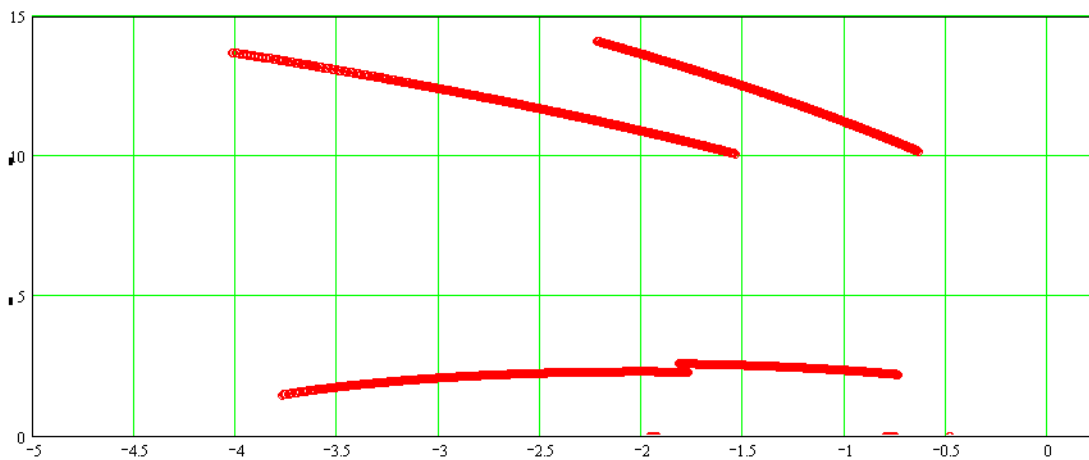


Рисунок 9 – Проекция частичных ребер параметрического многогранника

Далее отобразим ребра, соответствующие изменению коэффициента усиления.

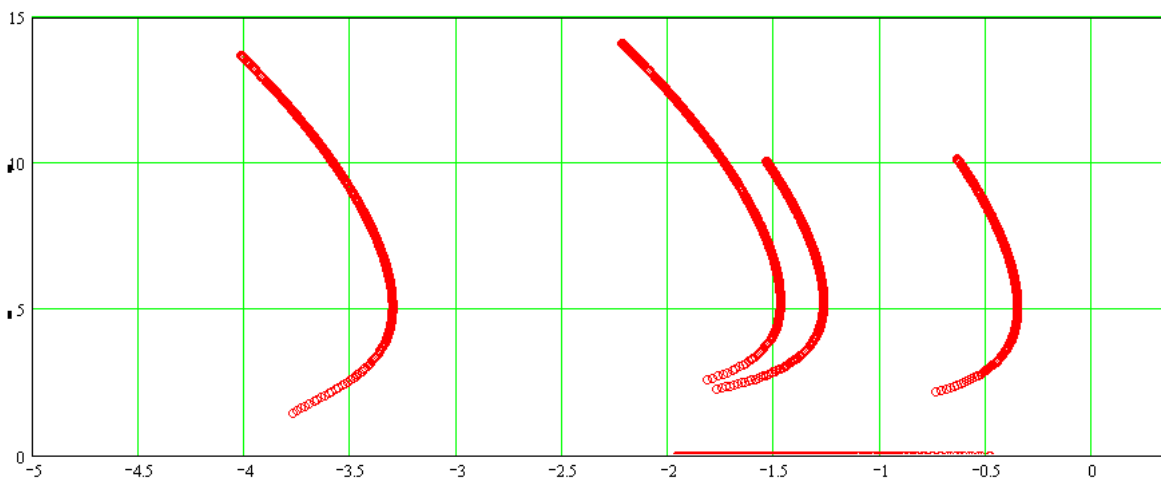


Рисунок 10 – Проекция частичных ребер параметрического многогранника

ка

Отообразим ребра, соответствующие изменению массы груза.

$$L3 := 50, 100 \dots 100 \quad K3 := 1, 50 \dots 50 \quad M3 := 50, 50.2 \dots 500$$

$$B0(L3, K3, M3) := C0 \cdot K3 \cdot R^2$$

$$B1(L3, K3, M3) := C0 \cdot R^2 + R^2 \cdot T \cdot K3 \cdot C0 + X0 \cdot K3 \cdot R^2 + J \cdot \frac{C0}{M3}$$

$$B2(L3, K3, M3) := X0 \cdot R^2 + X0 \cdot T \cdot K3 \cdot R^2 + J \cdot \frac{X0}{M3}$$

$$B3(L3, K3, M3) := J \cdot L3$$

$$V(L3, K3, M3) := \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} B0(L3, K3, M3) \\ B1(L3, K3, M3) \\ B2(L3, K3, M3) \\ B3(L3, K3, M3) \end{pmatrix} \right)$$

$$E0(L3, K3, M3) := \text{Re}(V(L3, K3, M3))_0$$

$$E1(L3, K3, M3) := \text{Re}(V(L3, K3, M3))_1$$

$$E2(L3, K3, M3) := \text{Re}(V(L3, K3, M3))_2$$

$$U0(L3, K3, M3) := \text{Im}(V(L3, K3, M3))_0$$

$$U1(L3, K3, M3) := \text{Im}(V(L3, K3, M3))_1$$

$$U2(L3, K3, M3) := \text{Im}(V(L3, K3, M3))_2$$

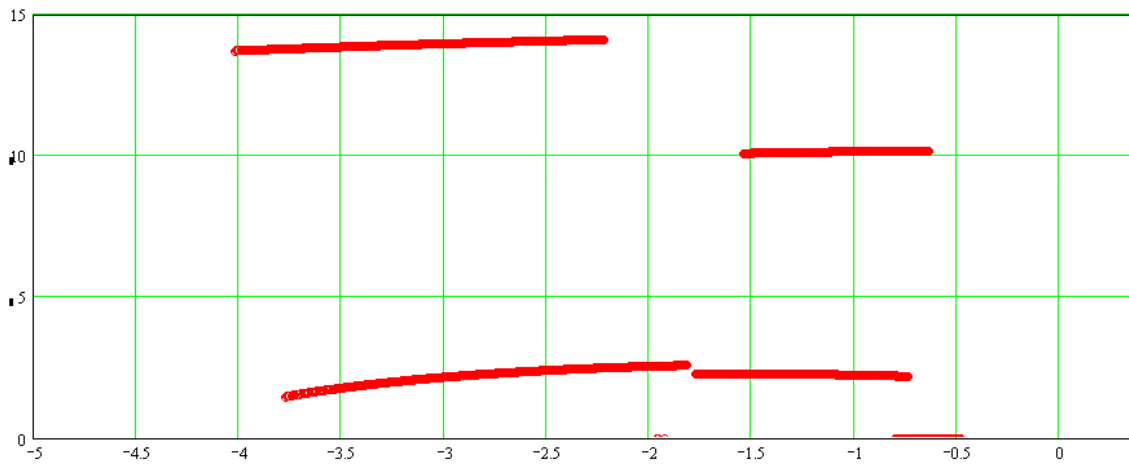


Рисунок 11 – Проекция частичных ребер параметрического многогранник

а

Получим отображение всего многогранника интервальных параметров системы.

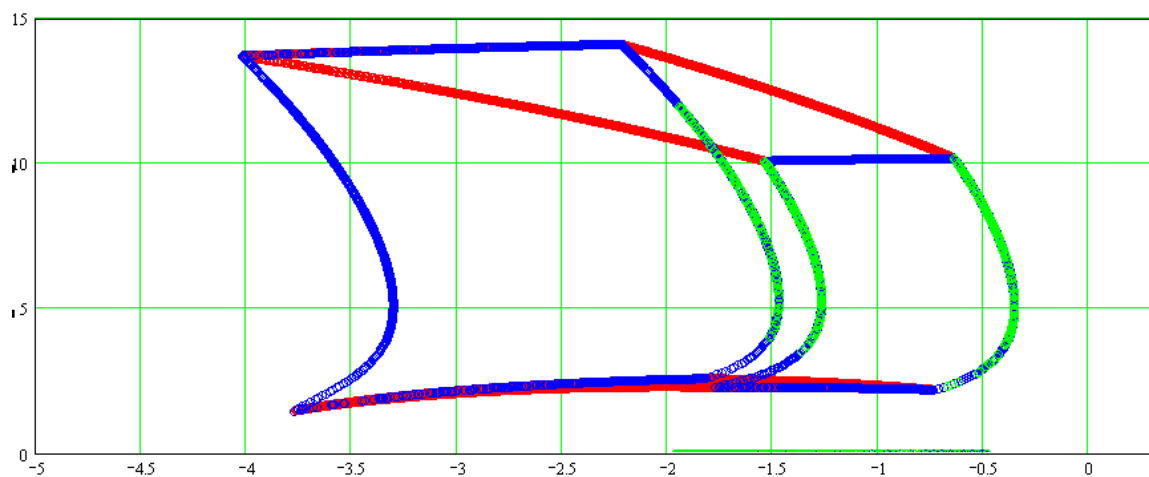


Рисунок 12 – Глобальная проекция параметрического многогранника

Исследуемая САУ робастно устойчива. Ее степень робастной устойчивости определяется реберной ветвью, полученной при изменении коэффициента передачи электрической части системы. Значение степени робастной устойчивости системы равно 0,35[33].

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРС
СОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
158Т92	Люй Бовэнь

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОРА
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Среднерыночные цены РФ для определения стоимости материальных ресурсов. Нормативные документы НИ ТПУ, ФЗ «О минимальном размере оплаты труда» для определения оплаты труда исполнителей проекта.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф электроэнергии 3,5 руб. кВт/ч., 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ потенциальных потребителей и конкурентных технических решений. SWOT-анализ. Определение альтернатив проведения НИ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование структуры работ и определение трудоемкости их выполнения, графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсной и финансовой эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений. 2. Матрица SWOT-анализа 3. Морфологическая матрица роботизированной платформы 4. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей 5. Временные показатели проведения НИ 6. Бюджет НИ 7. Оценка характеристик вариантов исполнения 8. Сравнительная эффективность разработки.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2023.г
---	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБ ИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		01.03.2023.г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Люй Бовэнь		01.03.2023.г

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Сегментировать рынок услуг по разработке интернет-ресурсов можно по следующим критериям: размер компании-заказчика, вид интернет-ресурса (рисунок 13).

		Размер системы АСУТП		
		Крупные	Средние	Малые
Потребители	Судостроения			
	Пищевая промышленность			
	Машиностроение			

Рисунок 13 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке интернет-ресурсов



В приведенной карте сегментирования показано, какие ниши на рынке услуг по разработке интернет-ресурсов не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентов проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (18)$$

Где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

$$K_{\Phi} = \sum B_i \cdot B_i = 4.49 ,$$

$$K_{K1} = \sum B_i \cdot B_i = 4.57 ,$$

$$K_{K2} = \sum B_i \cdot B_i = 4.34 .$$

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{Φ}	B_{K1}	B_{K2}	K_{Φ}	K_{K1}	K_{K2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
3. Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
2. Надежность	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
3. Уровень шума	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
4. Безопасность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
5. Потребность в ресурсах памяти	0,11	4	4	4	0,44	0,44	0,44
6. Простота эксплуатации	0,14	5	5	5	0,7	0,7	0,7
7. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	3	5	5	0,21	0,35	0,35
Итого	1	50	0	9	4.49	4.57	4.34

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровне

м качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

4.2 SWOT-анализ

Результаты первого этапа представлены в таблице 6.

Таблица 6 –Матрица SWOT

<p>Сильные стороны науч- но-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Актуальность исследования</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны научно- исследовательского проекта:</p> <p>СЛ1. Сложность исследуемого процесса, большое количество данных по процессу</p> <p>СЛ2. Высокая стоимость специализированного программного обеспечения</p> <p>СЛ3. Отсутствие четкой инструкции (методики, плана) выполнения анализа данных</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Оптимизация процесса и повышение его эффективности</p> <p>В2. Структурирование и стратификация данных для дальнейшего использования</p> <p>В3. Разработка методики (плана, алгоритма) для проведения комплексного анализа процесса</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>

В рамках второго этапа построили интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы проекта представлен в табл. 6-9.

Таблица 6 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей

Сильные стороны проекта						
Возможность и проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	+	-	-	-	0
	B3	+	-	+	-	0
	B4	-	-	-	+	+

Таблица 7 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей

Слабые стороны проекта				
Возможность и проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3
	B1	0	+	-
	B2	0	-	-
	B3	0	-	-
	B4	-	-	+

Таблица 8 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз

Сильные стороны проект						
угроз		C1	C2	C3	C4	C5
	y1	-	-	-	+	-
	y2	-	-	+	+	-
	y3	-	-	-	0	0

Таблица 8 –Интерактивная матрица слабых сторон и угроз

Сильные стороны проекта				
угроз		СЛ1	СЛ2	СЛ3
	y1	+	+	+
	y2	-	-	-
	y3	-	-	0

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (таблица 9).

Таблица 9 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Актуальность исследования</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>СЛ1. Сложность исследуемого процесса, большое количество данных по процессу</p> <p>СЛ2. Высокая стоимость специализированного программного обеспечения</p> <p>СЛ3. Отсутствие четкой инструкции (методики, плана) выполнения анализа данных</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Оптимизация процесса и повышение его эффективности</p> <p>В2. Структурирование и стратификация данных для дальнейшего использования</p> <p>В3. Разработка методики (плана, алгоритма) для проведения комплексного анализа процесса</p>	<p>В1С1С2С3С4: В то же время он имеет преимущества высокой эффективности, низкой стоимости и низкой себестоимости.</p> <p>В2С1: Структура данных понятна, отчет имеет практическое значение</p> <p>В3С1С3: Поскольку процесс исследования прост, процесс анализа относительно прост.</p>	<p>В1СЛ2: Использование дорогого математического программного обеспечения может повысить эффективность</p>

Продолжение таблицы 9

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>У1С2:Исследовательская среда может быть не очень хорошей, поскольку спрос на новые технологии невелик. У2С3:Может быть не конкурентоспособным и з-за ограниченных средств.</p>	<p>У1СЛ1СЛ2СЛ3:Исследования затруднены из-за отсутствия спроса на новые технологии</p>
--	--	--

4.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологическая матрица для данной исследовательской работы представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Морфологическая матрица для надежной стабильности

	1	2	3	4
<p>А.Программа для подготовки данных и проведения статистического анализа</p>	<p>Microsoft Excel</p>	<p>Statistica</p>	<p>Google Таблицы</p>	<p>Microsoft Word</p>
<p>Б.Программа для построения графиков</p>	<p>Microsoft Excel</p>	<p>Statistica</p>	<p>Microsoft Word</p>	<p>Microsoft Visio</p>
<p>В.Программирование</p>	<p>Microsoft Word</p>	<p>Statistica</p>	<p>C++</p>	<p>микрокомпьютер с одним чипом</p>

Продолжение таблицы 10

	1	2	3	4
Г. Презентация	Microsoft Word	Microsoft Visio	C++	Microsoft PowerPoint

Для данной матрицы это может быть А2-Б2-В1-Г4.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Этапы работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблица 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Определение тем работы	Научный руководитель
	2.	Подбор и изучение материала по теме исследования	Инженер
	3.	Проведение патентных исследований	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Изучение, анализ, структурирование материалов по выбранной теме исследования	Инженер
	5	Написание теоретической части исследования	Инженер
	6	Анализ экспериментальных данных	Инженер
	7	Данные, полученные из экспериментальных явлений	Инженер

Продолжение таблицы 11

Основные этапы	№ ра б	Содержание работ	Должность исполнителя
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
	9	Оформление и проверка итогового варианта работы	Инженер, научный руководитель

4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (19)$$

где $t_{ожi}$ – 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.

$$t_{ож} = (3 * 3 + 2 * 25) / 5 = 11,8.$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{11,8}{1} = 11,8.$$

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследовани

я

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{Ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожi}$, чел-дни			
Определение тем работы	1	2	1.4	Научный руководитель, инженер	10.7	12.9256
Подбор и изучение материала по теме исследования	1	3	1.8	Научный руководитель, инженер	0.9	1.0872
Проведение патентных исследований	2	5	3.2	Научный руководитель, инженер	1.6	1.9328

Продолжение таблицы 12

Название работы	Трудоёмкость работ	Исполнители	Длительность работ в рабочих днях Т _{рi}	Длительность работ в календарных днях Т _{кi}	Название работы	Трудоёмкость работ
Изучение, анализ, структурирование материалов по выбранной теме исследования	3	4	4.2	инженер	24.2	29.2336
Написание теоретической части исследования	5	9	6.6	инженер	6.6	7.9728
Анализ экспериментальных данных	8	12	9.6	инженер	6.6	7.9728
Данные, полученные из экспериментальных явлений	6	10	7.6	инженер	6.6	7.9728

Продолжение таблицы 12

Название работы	Трудоёмкость работ	Исполнители	Длительность работ в рабочих днях Т _{рi}	Длительность работ в календарных днях Т _{кi}	Название работы	Трудоёмкость работ
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	2.4	Научный руководитель, инженер	1.2	1.4496
Оформление и проверка итогового варианта работы	3	4	3.4	Научный руководитель, инженер	1.7	2.0536
ИТОГО	Руководитель				4,85	7,12
	Студент				27,05	39,94

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты для данной разработки, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Интернет-услуги	Месяц	4	350	1400
Электроэнергия	кВт	60	3,5	210
Итого				1610

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования, используемого для каждого исполнения темы в таблице 12.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Исп.1				
1.	компьютер	1	50000	50000
2.	MicrosoftOffice 2023	1	7458	7458
3	Matlab	По подписке	0	0
4	Mathcad	По подписке	0	0
Итого:				57458

Продолжение таблицы 14

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Исп.2				
1.	компьютер	1	50000	50000
2.	MicrosoftOffice 2023	1	7458	7458
3	Matlab	1	7920	7920
4	Mathcad	1	7883	7883
Итого:				73261
Исп.3				
1.	компьютер	1	50000	50000
2.	MicrosoftOffice 2023	1	7458	7458
3	Matlab	1	7920	7920
4	SMath Studio	1	13680	13680
Итого:				79058

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	50	50
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		

Продолжение таблицы 15

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Потери рабочего времени	56	28
- отпуск	2	2
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	271

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} + k_p,$$

Где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно НК РФ обязательные отчисления по органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников составляют 30% .

Расчет основной заработной платы сводится в табл. 12.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Тарифная заработная плата, Z_{tc} , руб.	Районный коэффициент, k_p , %.	Месячный должностной оклад работника, Z_m , руб.	Среднедневная заработная плата, $Z_{дн}$, руб.	Производительность работы	Заработная плата основная, $Z_{осн}$, руб.	отчисления в социальные внебюджетные фонды (30%)
Руководитель	39300	30	51090	2670	4,85	12950	3885
Студент	16242	30	21115	1188	7,05	32145	9644
Итого:						45095	13528

4.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 13.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты	1610	1610	1610
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	57458	73261	79058
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	45095	45095	45095
5. Отчисления во внебюджетные фонды	13528	13528	13528

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Точность расчетов	0,1	5	3	4
2. статистических методов	0,15	4	2	3

Продолжение таблицы 18

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
3. Удобство эксплуатации ПО	0,3	5	3	3
4. Визуализация данных	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
ИТОГО	1			

$$\text{исп1} = 0.1*5+1.05*4+0.3*5+0.2*4+0.25*4=4.4$$

$$\text{исп2} = 0.1*3+0.15*2+0.3*3+0.2*3+0.25*4=3.1$$

$$\text{исп3} = 0.1*4+0.15*3+0.3*3+0.2*3+0.25*4=3.35$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения позволяет наиболее целесообразно выбрать наилучший из предложенных вариантов.

$$I_{\text{исп } i} = \frac{I_p^{\text{исп } i}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп } i}}, \quad (20)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп } 1}}{I_{\text{исп } 2}}, \quad (21)$$

Таблица 19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель р азработки	0.84	0.95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффек тивности разработки	4,4	3,1	3,35
3	Интегральный показатель эффективност и	5,23	3,26	3,35
4	Сравнительная эффективность варианто в исполнения	1,6		1,56

Сравнение интегрального показателя сопоставляемых вариантов (табли ца 18) показало, что первый вариант исполнения проекта наиболее ресурсо- и финансово эффективен по сравнению с другими вариантами исполнения про екта на 60% и 56%.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
158Т92	Люй Бовэнь

Школа	ИШИТР	Отделение (НО Ц)	ОРА
Уровень об разования	Бакалавр	Направление/сп ециальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Корневые методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Из-за изменений условий труда, внешних помех и ошибок моделирования трудно получить точную модель реального производственного процесса, а различные сбои системы также приведут к неопределенности модели, поэтому можно сказать, что неопределенность модели широко распространена в системе управления. Как сконструировать фиксированный регулятор, чтобы объект с неопределенностью соответствовал качеству управления, то есть робастному управлению, стало темой исследований отечественных и зарубежных исследователей.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства (Трудовой Кодекс Российской Федерации) и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	нет явных опасностей, этот проект имеет абсолютную безопасность
3. Экологическая безопасность:	При выполнении работы влияние на атмосферу и гидросферу не происходит. Воздействие на литосферу – образование отходов при печати документов.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание)
--	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Люй Бовэнь		

5. Социальная ответственность

Социальная ответственность - это сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач, норм и ценностей, понимание последствий осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личности, для социального прогресса общества.

В этой ВКР я сосредоточился на исследовании робастной устойчивости. «Робастная устойчивость» относится к характеристикам системы управления, которая сохраняет некоторые другие свойства при определенных (структура, размер) возмущениях параметров. То есть надежность системы является залогом выживания системы в нештатных и опасных ситуациях. Робастные методы управления подходят для приложений, где стабильность и надежность являются основными целями, а динамические характеристики процесса известны и можно оценить диапазон неопределенностей.

В текущем разделе указаны основные вредные и опасные факторы рабочей зоны, их анализ и способы защиты от них, аспекты охраны окружающей среды, защиты от чрезвычайных ситуаций, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

Главным требованием при организации рабочего пространства является создание безопасных и комфортных для работы условий, профилактика профзаболеваний и несчастных случаев. Комплекс таких мероприятий называется охраной труда на производстве. Для этого работодатель должен создать благоприятные условия труда в соответствии с санитарными нормами, техникой безопасности, эргономикой, эстетикой.

Основным документом, регулирующим отношения в сфере трудового законодательства, является Трудовой Кодекс Российской Федерации. Он обеспечивает сотрудникам право на справедливые условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, право на обязательное социальное страхование, а также права на отдых, включая ограничение рабочего времени, предоставление ежедневного отдыха, выходных и нерабочих праздничных дней, оплачиваемого ежегодного отпуска.

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник проектного офиса по развитию системы непрерывных улучшений предприятия ООО «Газпромнефть- Восток», Нахимова 13а ст1 право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра .

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих прои

зводственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

К производственной безопасности относятся организационные мероприятия и технические средства защиты от поражения электрическим током, защита от механических травм движущимися механизмами, подъемно-транспортными средствами, обеспечение безопасности систем высокого давления, методы и средства обеспечения пожаровзрывобезопасности.

5.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

В разделе производственная безопасность производится анализ факторов рабочей зоны менеджера по качеству в компании на предмет выявления их вредных и опасных проявлений.

Для идентификации потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов» [26], характерных для проектируемой производственной среды.

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

5.2.2.1 Неблагоприятный микроклимат

Микроклимат производственных помещений – это комплекс физических факторов внутренней среды помещений, который оказывает влияние на тепловой баланс человека с окружающей средой. Микроклимат в производственных помещениях характеризуют следующие показатели:

температура (t);

относительная влажность (W);

скорость движения воздуха (V).

СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий. Эти нормы принимают во внимание:

время года – холодный период с температурой +10 °С и ниже и теплый период с температурой +10 °С и выше;

категорию работ – работа менеджера по качеству относится к категории Ia - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением .

Неблагоприятный уровень микроклимата может способствовать возникновению у человека следующих последствий:

нарушение терморегуляции, в результате которого возможно повышение температуры, обильное потоотделение, слабость.

нарушение водно-солевого баланса, может привести к слабости, головной боли, судорожной болезни.

Параметры микроклимата делятся на оптимальные (не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах) и допустимые (не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности).

При работе в производственных помещениях значения показателей микроклимата для работ категории Ia оптимальны, если они соответствуют требованиям таблицы 4.1, а допустимые значения требованиям таблицы 4.2.

Таблица 21 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

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

Таблица 22 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Холодный	20,0-21,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	21,0-22,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,2

Микроклимат на рабочем месте в проектом офисе по развитию системы непрерывных улучшений предприятия ООО «Газпромнефть-Восток», Нахимова 13а ст1 соответствует специфике условий труда [29]. В помещении проводится ежедневная влажная уборка. Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется система отопления и вентиляции. Также для создания благоприятных условий микроклимата в помещении используется система кондиционирования в течение всего года и правильно организовано время труда и отдыха. Так же и используется увлажнитель воздуха.

Для профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата можно проводить следующие защитные мероприятия:

добавить обогревающие батареи, увлажнители воздуха, утеплить помещение (заделать щели, поменять окна на пластиковые);

добавить экранирующие поверхности;

установить кондиционеры, вентиляторы;

обеспечить надежной теплоизоляцией перекрытия от солнечной радиации верхнего этажа;

распланировать помещения, расставить оборудование, обеспечивая свободный доступ свежего воздуха ко всем участкам рабочего места;

перенести при возможности рабочие места от горячих поверхностей и источников холода.

участить перерывы в работе, сократить рабочий день, увеличить продолжительность отпуска, и т. д.;

оборудовать специальные теплые помещения для отдыха и обогрева;

обеспечить персонал средствами индивидуальной защиты.

5.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Проекты по проведению статистического анализа процесса монтажа и демонтажа электроцентробежного насоса не наносит вреда окружающей среде. На рабочем месте инженера по качеству присутствуют оборудования: монитор, системный блок, принтер, сканер. С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть влияние серверного оборудования при его утилизации.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.

Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.

Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.

Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения» чрезвычайная ситуация (ЧС) - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

- Пожары, взрывы;
- Внезапное обрушение зданий, сооружений;
- Геофизические опасные явления (землетрясения);
- Метеорологические и агрометеорологические опасные явления.
- Так как объект исследований представляет из данные о процессе,

обрабатываемые в программном обеспечении, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с серверным оборудованием. В серверной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в серверной комнате.

Помещение серверной должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении серверной организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

При разработке проекта серверной необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в отделе непрерывных улучшений ООО.

«Газпромнефть-Восток». Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

1. Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим

причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

2. Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров. Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении и необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);

пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;

обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода [33].

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптикоэлектронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Таблица 23 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, к В	Тип огнетушителя (марка)
--------------------	--------------------------

Продолжение таблицы 23

Напряжение, к В	Тип огнетушителя (марка)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 рабочее помещение, относится к типу В – пожароопасное.

Федеральный закон №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает общие требования пожарной безопасности к различным объектам, в том числе к зданиям и сооружениям, производственным объектам.

При написании методики и дипломной работы горючие вещества не используются, поэтому пожар может возникнуть только по вышеуказанным причинам. В случае возникновения ЧС как пожар, необходимо предпринять меры по эвакуации персонала из офисного помещения в соответствии с планом эвакуации. При отсутствии прямых угроз здоровью и жизни произвести попытку тушения возникшего возгорания огнетушителем. В случае потери контроля над пожаром, необходимо эвакуироваться вслед за сотрудниками по плану эвакуации и ждать приезда специалистов, пожарников. При возникновении пожара должна сработать система пожаротушения, издав предупредительные сигналы, и передав на пункт пожарной станции сигнал о ЧС, в случае если система не сработала, по каким-либо причинам, необходимо самостоятельно произвести вызов пожарной службы по телефону 101 или 112, сообщить место возникновения ЧС и ожидать приезда специалистов.

В проектом офисе по развитию системы непрерывных улучшений ООО «Газпромнефть-Восток» имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии

и) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.

Заключение

Для определения различных типов параметров интервала, возникающих в спектре характеристических полиномов интервала, был проанализирован метод определения индикаторов луковых корней системы управления. В реальных системах управления характерные многочлены интервала обычно имеют многолинейную или многочленную неопределенность. Системы управления с характеристикой интервала аффинной неопределенности не столь распространены. Крайне редки случаи, когда система управления имеет характеристическую многочленную неопределенность.

В случае наличия множественной линейной или многочленной неопределенности показатель производительности стержня можно определить по корням внутри многоклеточной P . Таким образом, для определения этих показателей необходимо изучить весь параметр многоклеточной P , что является сложной задачей. Чтобы упростить задачу, многократные линейные или полиномы могут быть приведены в аффинную форму, заменяя элементы, содержащие параметры интервала, на элементы, содержащие параметры интервала. Это преобразование реализуется при помощи простых правил алгоритма интервала.

Используя аффинную неопределенность характеристических полиномов в интервала, можно применить маргинализацию теоремы, чтобы оценить изменение производительности ручного кластера. Следует отметить, что не все стороны являются границами зоны позиционирования, а просто определяют определенные стороны пути вдоль границы границы. В этом случае показатель производительности стержня может быть определен как вершина многогранного P и внутренняя точка его сторон.

Но если использование аффинной неопределенности ведет к явному увеличению числа неопределенных параметров между интервалами, рекомендуется понизить многомерную линейную или многочленную неопределенность в форму интервала. В случае неопределенности между характеристическими коэффициентами многочленов, анализ только вершин многогранного P мож

ет решить проблему определения индикатора производительности системы управления стержнем. Однако следует отметить, что проверка всех $2m$ вершин, в которых m является числом коэффициентов интервала, может быть сложной задачей. Таким образом, рекомендуется использовать исследования, которые могут уменьшить количество подтвержденных вершин.

Список источников литературы

1. В разделе 3 на примере задачи о робастной устойчивости. Там же для некоторых из них 1 Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (проект" URL: <https://arxiv.org/pdf/2012.03120>
2. Новокшенов, Сергей Владимирович. Анализ и синтез интервальных систем с гарантируемой динамикой на основе робастных и адаптивных алгоритмов: дис. кандидат технических наук: 05.13.01 - Системный анализ, управление и ..." URL: <https://www.dissercat.com/content/analiz-i-sintez-intervalnykh-sistem-s-garantiruemoi-dinamiko-i-na-osnove-robastnykh-i-adaptiv>
3. Рассмотрен алгебраический метод исследований робастной устойчивости непрерывных и дискретных интервальных динамических систем. Представлены оригинальные результаты робастности, полученные для непрерывных и ..." URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algebraicheskiy-metod-issledovaniya-robastnosti-intervalnyh-dinamicheskikh-sistem>
4. Barlett, A.C. Root location of an entire polytope, of polynomials: it suffices to check the edges / A.C. Barlett, C.V. Hollot, П. Lin // Math: Contr., Signal s. Syst, 1987, Vol. 1, №1. -Р . 61-71.
5. В разделе 3 на примере задачи о робастной устойчивости. Там же для некоторых из них 1 Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (проект" URL: <https://arxiv.org/pdf/2012.03120>
6. Dec 27, 2022 · Анализ и синтез робастных систем управления с аффинной и ... Системы с ..." URL: https://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_2027419
7. Волков А.Н., Загашвили Ю.В. Метод синтеза систем автоматического управления с максимальной степенью устойчивости при наличии ограничений // Известия РАН. Сер. Теория и системы управления. 1997. № 3. С. 12–19.

8. Воевода А.А., Чехонадских А.В. Построение списка критических расположений полюсов систем автоматического управления // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2014. № 2–3 (23–24). С. 7–18.
9. Татаринов А.В., Цирлин А.М. Задачи математического программирования, содержащие комплексные переменные, и предельная степень устойчивости динамических систем // Известия РАН, сер. Теория и системы управления. 1995. №1. С. 28–33
10. Ezangina T. A., Gayvoronskiy S. A. Ensuring Maximum Stability Degree in the Systems with Interval Parameters // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 752–753. P. 955–961.
11. Pushkarev M.I., Gaivoronsky S.A. Maximizing stability degree of control systems under interval uncertainty using a coefficient method // Reliable Computing. 2014. Vol. 19, № 3. P. 248-260.
12. Gayvoronskiy S.A., Ezangina T.A., Khozhaev I.V., Nesenchuk A.A. Analyzing robust stability of an interval control system on the basis of vertex polynomials//Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. 2019. Vol. 5, №5. P. 266-273
13. Кузнецов В. П., Кукареко Е. П., Ф. В. Фурман Ф. В. Численная процедура получения экспоненциальных оценок в линейных непрерывных системах с неопределенными параметрами // Автоматика и телемеханика. 1987. № 5. С. 183–186.
14. Анализ с использованием интервальных характеристических полиномов // Техническая кибернетика. 1991. № 1 - С. 3-30.
15. Райцын Т.М. Синтез систем автоматического управления методом направленных графов. Л.: Энергия, 1970. 96 с.
16. Хлебалин Н.А. Синтез интервальных регуляторов в задаче модального управления // Аналитические методы синтеза регуляторов: Межвуз. на учн. сб. Саратов: Саратовский политех. ин-т. 1988. С. 26–30.

17. Захаров А.В. Шокин Ю.И. Синтез систем управления при интервальной неопределенности параметров их математических моделей // ДАН СС СР. 1988. Т. 299 № 2. С. 292–295.
18. Скворцов Л.М. Интерполяционный метод решения задачи назначения доминирующих полюсов при синтезе одномерных регуляторов // Изв. Р АН. ТиСУ. 1996. № 4. С. 10–13.
19. Вадутов О.С., Гайворонский С.А. Решение задачи размещения полюсов системы методом D-разбиения // Изв. РАН. ТиСУ. 2004. № 5. С. 23–27.
20. Замятин С. В., Гайворонский С.А. Решение задачи размещения полюсов линейной интервальной динамической системы в заданном секторе // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309, № 5. С. 16–20.
21. Замятин С. В. Размещение областей локализации доминирующих полюсов интервальной системы с обеспечением заданных показателей качества // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309, № 7. С. 10–12.
22. Удерман Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматических систем. М.: Наука, 1972. 448 с.
23. Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З. Частотные критерии робастной устойчивости и апериодичности линейных систем // Автоматика и телемеханика. – 1990. – № 9. – С. 45–54.
24. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
25. Вадутов О.С., Гайворонский С.А. Решение задачи размещения полюсов системы методом D-разбиения // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2004. – № 5. – С. 23–27.
26. Римский Г.В. Корневой метод решения задач устойчивости интервальных систем // Вести АН Белоруси. Сер. физ.-техн. наук. 1994. № 4. – С. 80–85.

27. Корневые методы исследования интервальных систем / Под ред. Г.В. Римского. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 186 с.
28. Гайворонский С.А. Вершинный анализ корневых показателей качества системы с интервальными параметрами // Известия Томского политехнического университета, 2006. – №7. – С. 6–9.
29. Гайворонский С.А. Вершинный анализ локализации корней интервального полинома в заданном секторе // Третья международная конференция по проблемам управления: Пленарные доклады и избранные труды. – М.: Институт проблем управления, 2006. – С. 180–186.
30. Петров Н.П., Поляк Б.Т. Робастное D-разбиение // Автоматика и телемеханика. 1991. – № 11. – С. 41–53.
31. Суходоев М.С., Гайворонский С.А., Замятин С.В. Параметрический синтез линейного регулятора интервальной системы с гарантированными корневыми показателями качества // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 5. – С. 10–13.
32. Bartlett A.C., Hollot C.V., Lin H. Root location of an entire polytope polynomials: it suffices to check the edges // Proc. Amer. Contr. Conf. Minneapolis: MN, 1987.
33. Римский Г.В. Основы общей теории корневых траекторий систем автоматического управления. – Минск: Наука и техника, 1972– 328 с.