



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
Алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами

УДК 681.516.7:519

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Ю Сяовэнь		

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 Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		

Нормоконтроль (при наличии)

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2023 г.

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
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

Код компетенции	Наименование компетенции
	эксплуатации изделий
ПК(У)-3	готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы 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 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,

Код компетенции	Наименование компетенции
	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 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 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	Ю Сяовэнь

Тема работы:

Алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	№ 33-34/с от 02.02.2023

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование основных алгебраических методов анализа робастной устойчивости интервальных систем с характеристическими полиномами, коэффициенты которых заданы своими числовыми интервалами. Проект сосредоточен на использовании компьютеров для построения модели и арифметики для проверки точности метода.</p>
<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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Математическое описание САУ с интервально-неопределенными параметрами. 2. Определение наибольшего интервала робастной устойчивости по критерию Гурвица. 3. Применение теоремы Харитоновой для анализа робастной устойчивости. 4. Коэффициентный метод анализа робастной устойчивости.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	График, рисунок, таблицы применяемых в работе.
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Сечин Александр Иванович, профессор ООД ШБИП, д.т.н.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	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	Ю Сяовэнь		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	Ю Сяовэнь

Тема работы:

Алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами
--

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2023 г.	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	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	Ю Сяовэнь		02.02.2023

Реферат

Выпускная квалификационная работа 56 с., 6 рис., 14 табл., 13 источников.

Ключевые слова: Устойчивость, Параметры интервала, Уровень осцилляции, матрица Гурвица, полиномы Халитонова, Степень устойчивости и степени колебательности.

Объектом исследования являются алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование основных алгебраических методов анализа робастной устойчивости интервальных систем с характеристическими полиномами, коэффициенты которых заданы своими числовыми интервалами.

В работе рассматривается математическое описание АСУ с интервальными параметрами, определение максимального интервала робастной устойчивости по критерию Гурвица, применение теоремы Харитонова к анализу робастной устойчивости и метод коэффициентного анализа для робастной устойчивости.

В результате исследования была определена классификация неопределенности, определен интервал максимальной устойчивости системы с помощью матриц Гурвица, устойчивость системы определена с помощью полиномов Халитонова, а робастная устойчивость системы проанализирована через коэффициенты системы.

Данное исследование в основном применяется для определения устойчивости систем с неопределенными параметрами и способно определить максимальный интервал параметров, которые делают систему устойчивой и обеспечивают ее стабильную работу.

Содержание

Введение.....	11
1 Основной раздел.....	12
1.1 Математическое описание САУ с интервально- неопределенными параметрами	12
1.1.1 Структурная схема САУ с интервально-неопределенными параметрами.....	12
1.1.2 Классификация видов неопределенности	13
1.1.3 Приведение неопределенности коэффициентов характеристического полинома к интервальному виду.....	14
1.1.4 Примеры.....	16
1.2 Определение наибольшего интервала робастной устойчивости по критерию Гурвица.....	17
1.2.1 Основные расчетные соотношения.....	17
1.2.2 Примеры.....	18
1.3 Применение теоремы Харитонова для анализа робастной устойчивости.....	19
1.3.1 Теорема Харитонова.....	19
1.3.2 Проверочные полиномы Харитонова для САУ низкого порядка 20	
1.3.3 Примеры.....	20
1.4 Коэффициентный метод анализа робастной устойчивости	22
1.4.1 Анализ допустимой степени устойчивости	23
1.4.2 Анализ допустимой степени колебательности	24
1.4.3 Примеры.....	25
2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	31

2.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	31
2.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	31
2.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	31
2.1.3	SWOT- анализ	33
2.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	36
2.3	Планирование научно-исследовательских работ	38
2.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	38
2.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	39
2.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	41
2.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	42
3	Социальная ответственность.....	47
3.1	Введение	47
3.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	48
3.3	Производственная безопасность	48
3.4	Условия рабочего места	50
3.5	Экологическая безопасность	51
3.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	51
3.7	Выводы по разделу	52
	Заключение	54
	Список использованных источников	55

Ведение

Теория автоматического управления – это дисциплина, которая постоянно развивается и дополняется. При этом меняются основные проблемы дисциплины, взгляд на методы, применяемые для их решения, и используемые при этом математические инструменты.

В девятнадцатом веке основным объектом исследования были автоматические регуляторы производственных процессов, было введено важнейшее понятие устойчивости процесса регулирования и получен первый критерий устойчивости линейных систем.

В современных объектах автоматического управления некоторые параметры могут быть известны точно или изменяться по заранее заданным законам в процессе работы объекта. Но сложность объектов и ограниченные возможности адаптивных контроллеров делают применение адаптивных законов для управления этими объектами зачастую невозможным.

Одним из возможных решений этой проблемы является использование робастных законов управления. Робастные регуляторы имеют жесткую структуру и постоянные параметры, которые обеспечивают устойчивость системы для любого интервала значений параметров. В связи с этим появляются новые подходы к анализу робастной устойчивости. Такими методами могут быть, например, алгебраический, корневой, частотный и другие методы.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование основных алгебраических методов анализа робастной устойчивости интервальных систем с характеристическими полиномами, коэффициенты которых заданы своими числовыми интервалами.

1 Основной раздел

1.1 Математическое описание САУ с интервально-неопределенными параметрами

1.1.1 Структурная схема САУ с интервально-неопределенными параметрами

Системы автоматического управления (САУ) с интервально-неопределенными параметрами представляют собой класс САУ, где параметры системы задаются в виде интервалов [1]. Эти интервалы могут возникать в результате недостаточной точности измерений или оценок параметров системы. В таких случаях интервальное задание параметров является более реалистичным, чем точечное задание.

Структурная схема САУ с интервально-неопределенными параметрами включает в себя элементы, которые отвечают за измерение сигналов, обработку информации и управление объектом управления. В качестве элементов обработки информации часто используются интервальные вычисления, такие как интервальная арифметика и интервальный анализ.

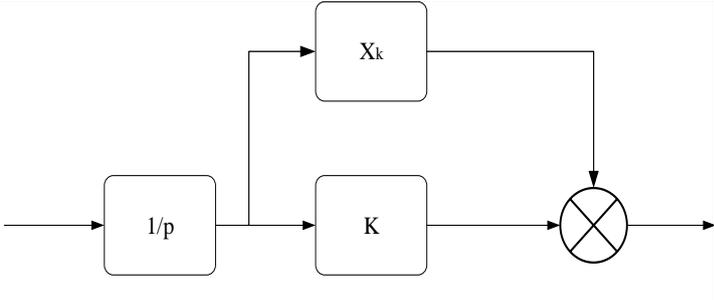
Одной из форм математического описания САУ являются их структурные схемы, получаемые на основе структурных представлений типовых звеньев САУ с интервальными параметрами. В таблице приведены такие структурные представления.

Примером может служить передаточная функция для интегрирования (таблица 1):

Таблица 1 – Интегральная передаточная функция

Звено	Передаточная функция	Структурное представление
-------	----------------------	---------------------------

Продолжение таблицы 1 – Интегральная передаточная функция

Интегрирующее	$W(p) = \frac{K}{p}$	
---------------	----------------------	--

По структурной схеме, учитывающей интервальность параметров САУ, может быть получена передаточная функция системы и ее характеристическое уравнение.

1.1.2 Классификация видов неопределенности

Классификация видов неопределенности может быть полезна для более точного определения интервальных параметров САУ. Принято различать следующую иерархию неопределенности характеристического уравнения:

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

В типичных приложениях неопределенная структура характеристического полинома более сложна, чем интервальная или аффинная. Обычно неопределенные параметры входят нелинейно в характеристический полином замкнутого типа, что соответствует полилинейной или полиномиальной видам неопределенности.

Рассмотрим указанные выше виды неопределенностей и приведем примеры соответствующих полиномов.

- Интервальная неопределенность характеризуется наличием интервальных коэффициентов у полинома. То есть все коэффициенты полинома этого типа являются числовыми интервалами.
- Особенностью аффинной неопределенности является то, что в этом

случае параметрические переменные входят в коэффициенты полинома в качестве слагаемых или произведений с константой. Например, аффинная неопределенность полинома может иметь следующий вид:

$$(5q_1 - q_2 + 5) + (4q_1 + q_2 + q_3)s + s^2 \quad (1)$$

- Полилинейная неопределенность характеристического полинома имеет место, когда каждый неопределенный параметр q_i линеен при фиксированных других параметрах, причем $q_i, i \neq j$. Пример полинома с полилинейной неопределенностью имеет вид:

$$(5q_1 - q_2 + 5) + (4q_1q_3 - 6q_1q_3 + q_3)s + s^2 \quad (2)$$

В этом примере особенностью является то, что переменные q_i входят в качестве произведения друг друга.

- Полином имеет полиномиальную неопределенность, если коэффициенты полинома являются полиномами со многими переменными в параметрах q_i .

Пример полинома с полиномиальной неопределенностью:

$$(5q_1 - q_2 + 5) + (4q_1 - 6q_2 + q_3^2)s + s^2 \quad (3)$$

Такой вид неопределенности отличается от предыдущих тем, что параметрические переменные q_i входят в полином, будучи возведенными в какую-то степень.

1.1.3 Приведение неопределенности коэффициентов характеристического полинома к интервальному виду

Характеристический полином САУ с интервально-неопределенными параметрами может быть записан как интервальный многочлен. Приведение неопределенности коэффициентов характеристического полинома к интервальному виду может быть выполнено с использованием интервальной

арифметики. Этот подход может быть использован для анализа устойчивости и качества управления САУ с интервально-неопределенными параметрами.

Приведение неопределенности коэффициентов характеристического полинома к интервальному виду является одной из важных задач в математическом описании САУ с интервально-неопределенными параметрами. Чтобы преобразовать неопределенность в коэффициентах характеристического полинома в интервальную форму, можно предпринять следующие шаги.

- Определите диапазон параметров: для каждого неопределенного коэффициента определите диапазон возможных значений. Это может быть определено на основе фактических измерений, статистических данных или знаний из области.
- Построить интервальные коэффициенты: используя определенный диапазон параметров, представить каждый коэффициент в виде интервала. Например, если коэффициент имеет диапазон $[a, b]$, он может быть выражен как $[x, y]$, где x - минимальное значение a , а y - максимальное значение b .
- Построение интервальных характеристических многочленов: Используя интервальные коэффициенты, постройте характеристический многочлен в интервальной форме. Примените интервал каждого коэффициента к каждому члену характеристического многочлена соответствующим образом. В результате вы получите многочлен, состоящий из интервалов.
- Анализ интервальных характеристических многочленов: Используйте методы интервального анализа, такие как интервальная арифметика или интервальная оценка, для оценки свойств интервальных характеристических многочленов. Это позволит получить интервальную оценку решения характеристического полинома, чтобы отразить влияние неопределенности в коэффициентах на решение.

Правила работы с интервалом, следующие

- Сложение: $[a, b] + [c, d] = [a + c, b + d]$.
- Вычитание: $[a, b] - [c, d] = [a - d, b - c]$.
- Умножение: $[a, b] \times [c, d] = [\min(ac, ad, bc, bd), \max(ac, ad, bc, bd)]$.
- Деление: $[a, b] / [c, d] = [\min(a/c, a/d, b/c, b/d), \max(a/c, a/d, b/c, b/d)]$.

1.1.4 Примеры

В качестве иллюстративного примера предположим, что характеристическое уравнение для простой системы автоматического управления имеет вид:

$$p(s) = a \cdot s + b \quad (4)$$

где a, b — параметры неопределенности и $a \in [1, 3], b \in [-2, 2]$.

Далее мы переведем эти диапазоны параметров в интервальную форму:

$$\begin{aligned} a &\Rightarrow [1, 3] \\ b &\Rightarrow [-2, 2] \end{aligned} \quad (5)$$

Затем мы применяем эти интервальные коэффициенты к каждому члену характеристического полинома, чтобы получить интервальный характеристический полином:

$$p(s) \Rightarrow [1, 3]s + [-2, 2] \quad (6)$$

Теперь мы можем использовать интервальную арифметику для вычисления интервального диапазона характеристического полинома. Для этого первичного характеристического полинома мы можем непосредственно выполнить интервальную арифметику следующим образом:

$$p(s) = [1, 3]s + [-2, 2] \quad (7)$$

С помощью операций интервальной арифметики мы можем получить интервальный диапазон характеристического полинома:

$$p(s) = [s - 2, 3s + 2] \quad (8)$$

Это означает, что верхняя граница кривой характеристической полиномиальной функции равна $3s + 2$, а нижняя — $s - 2$.

Далее мы можем применить методы интервального оценивания для получения интервальных оценок характеристических корней. Для этого первичного характеристического полинома мы имеем только один характеристический корень, а именно $x = -\frac{b}{a}$. Применяя интервальные коэффициенты к формуле собственного корня, мы можем получить интервальную оценку собственного корня следующим образом:

$$\text{Характерные корни} \Rightarrow \left[-\frac{2}{3}, 2\right]$$

Это указывает на то, что диапазон характеристических корней оценивается как $\left[-\frac{2}{3}, 2\right]$.

1.2 Определение наибольшего интервала робастной устойчивости по критерию Гурвица

1.2.1 Основные расчетные соотношения

Предположим, что неопределенный полином:

$$p(s, q) = p_0(s) + qp_1(s) \quad (9)$$

где $p_0(s)$ - номинально устойчивый полином с положительными коэффициентами,

$p_1(s)$ - полином, выбранный таким образом что максимальный показатель степени $\deg p_1(s) < \deg p_0(s)$.

Определим наибольший интервал устойчивости, при котором $p(s, q)$ будет робастно устойчив. При этом параметр q принадлежит интервалу $q \in [q_{\min}, q_{\max}]$ используя матрицу Гурвица [2].

Матрица Гурвица размерностью $n \times n$ определяется по следующему непрерывному полиному:

$$p(s) = p_0 + p_1s + \dots + p_{n-1}s^{n-1} + p_n s^n, p_n > 0 \quad (10)$$

$$H(p) = \begin{bmatrix} p_{n-1} & p_{n-3} & \dots & 0 & 0 \\ p_n & p_{n-2} & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & p_{n-1} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_n & \dots & p_0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & p_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & p_2 & p_0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Критерий устойчивости Гурвица говорит о том, что полином $p(s)$ устойчив, если все основные миноры $H(p) > 0$.

Матрица Гурвица имеет вид:

$$\begin{aligned} H(p) &= H(p_0(s)) + qp_1(s) \\ &= H(p_0(s)) + qH(p_1(s)) = H_0 + qH_1 \end{aligned} \quad (12)$$

при условии, что определитель матрицы $H_0 > 0$ [3].

Дадим формулировку критерия собственного значения. Наибольший интервал устойчивости определяется формулой:

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{1}{\lambda_{\max}^+(-H_0^{-1}H_1)} \\ q_{\min} &= \frac{1}{\lambda_{\min}^-(-H_0^{-1}H_1)} \end{aligned} \quad (13)$$

где λ_{\max}^+ - положительное реальное максимальное собственное значение,

λ_{\min}^- - отрицательное реальное минимальное собственное значение.

1.2.2 Примеры

При использовании критерия Гурвица для определения максимального интервала робастности, предположим, что мы имеем следующий полином характеристической функции:

$$\begin{aligned} p(s, q) &= s^4 + (8+q)s^3 + 16s^2 + (10+q)s + 5 \\ &= s^4 + 8s^3 + 16s^2 + 10s + 5 + q(s^3 + s) \end{aligned} \quad (14)$$

Матрица Гурвица данного полинома имеет вид:

$$H(p, q) = H_0 + qH_1 \quad (15)$$

Используя значения из (15) получаем матрицы:

$$H_0 = \begin{bmatrix} 8 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 16 & 5 & 0 \\ 0 & 8 & 10 & 0 \\ 0 & 1 & 16 & 5 \end{bmatrix}; H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Подставив матрицу в (16) в уравнение (15), получим собственные значения полинома $p(s,q)$:

$$H_0^{-1}H_1 = \{0, 0, 0.0914, 0.1272\} \quad (17)$$

Следовательно, подставив полученные значения в (17) в формулу (13) получим:

$$\begin{aligned} q_{\min} &= -7.8616 \\ q_{\max} &= +\infty \end{aligned} \quad (18)$$

Таким образом, мы получаем интервал максимальной устойчивости в виде:

$$q \in [-7.8616, +\infty) \quad (19)$$

1.3 Применение теоремы Харитонова для анализа робастной устойчивости

1.3.1 Теорема Харитонова

В 1978 году российский ученый Владимир Харитонов доказал следующую теорему: непрерывный интервальный полином является робастно устойчивым, если устойчивы четыре определенным образом составленные полинома (называемые полиномами Харитонова) [4].

$$p(s, q) = \sum_{i=0}^n [q_i^-, q_i^+] s^i \quad (20)$$

и являются четырьмя полиномами Харитонова

$$\begin{aligned} p^{--}(s) &= q_0^- + q_1^- s + q_2^+ s^2 + q_3^+ s^3 + q_4^- s^4 + q_5^- s^5 + \dots \\ p^{-+}(s) &= q_0^- + q_1^+ s + q_2^+ s^2 + q_3^- s^3 + q_4^- s^4 + q_5^+ s^5 + \dots \\ p^{+-}(s) &= q_0^+ + q_1^- s + q_2^- s^2 + q_3^+ s^3 + q_4^+ s^4 + q_5^- s^5 + \dots \\ p^{++}(s) &= q_0^+ + q_1^+ s + q_2^- s^2 + q_3^- s^3 + q_4^+ s^4 + q_5^+ s^5 + \dots \end{aligned} \quad (21)$$

Значения q_i^- и q_i^+ являются соответственно минимальным и максимальным значениями параметра.

Рассмотрим пример составления четырех полиномов Харитонова для заданного полинома с интервальными коэффициентами. Пусть такой интервальный полином имеет вид

$$p(s, q) = [1, 2] + [3, 4]s + [5, 6]s^2 + [7, 8]s^3 \quad (22)$$

Полиномы Харитонова, соответствующие интервальному полиному, имеют вид:

$$\begin{aligned} p^{--}(s) &= 1 + 3s + 6s^2 + 8s^3 \\ p^{-+}(s) &= 1 + 4s + 6s^2 + 7s^3 \\ p^{+-}(s) &= 2 + 3s + 5s^2 + 8s^3 \\ p^{++}(s) &= 2 + 4s + 5s^2 + 7s^3 \end{aligned} \quad (23)$$

1.3.2 Проверочные полиномы Харитонова для САУ низкого порядка

Меньшее количество полиномов Харитонова, которые должны быть проверены

- степень 5: $p^{--}(s), p^{-+}(s), p^{+-}(s)$
- степень 4: $p^{+-}(s), p^{++}(s)$
- степень 3: $p^{+-}(s)$

1.3.3 Примеры

Рассмотрим линеаризованную модель следящей системы для подъемного крана (рисунок 1).

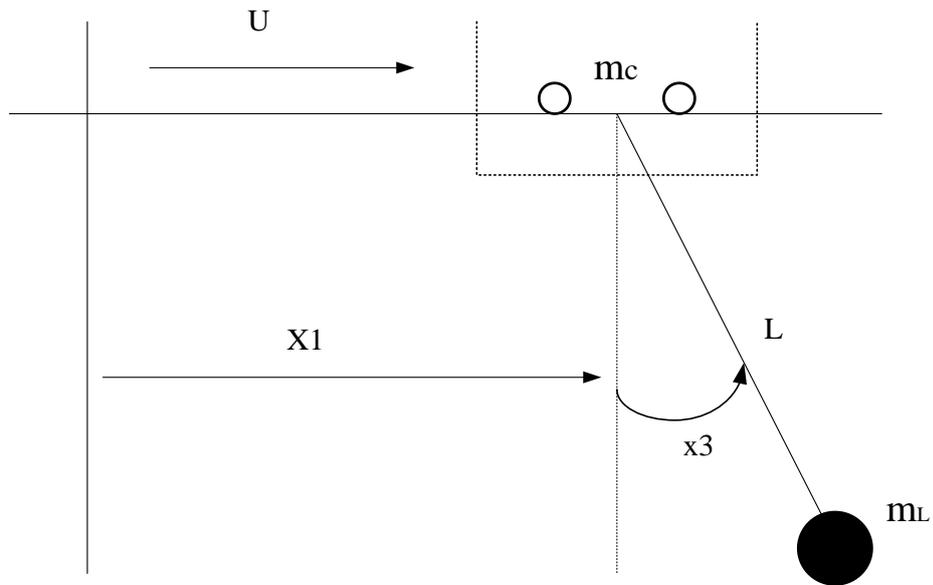


Рисунок 1 – Кинематическая схема следящей системы подъемного крана

Характеристический полином следящей системы имеет вид:

$$\frac{600g}{lm_c} + \frac{2000g}{lm_c} s + \frac{10000 + 6000l + gm_c + gm_L}{lm_c} s^2 + \frac{2000}{m_c} s^3 + s^4 \quad (24)$$

где $g = 10$ – гравитационная постоянная,

$m_c = 1000$ – масса тележки,

$l = 10$ – длина троса.

Предположим, что m_L (масса груза) неизвестна точно и принадлежит интервалу $[50; 2395]$. Попытаемся ответить на основной вопрос анализа устойчивости: остается ли устойчивым полином при всех допустимых значениях m_L .

После подстановки в исходный характеристический полином следящей системы интервального параметра массы груза и постоянных значений остальных параметров получим:

$$0.6 + 2s + [2.650, 4.995]s^2 + 2s^3 + s^4 \quad (25)$$

Такому интервальному полиному соответствуют два полинома Харитонова $p^{+-}(s), p^{++}(s)$, которые одинаковы и имеют вид:

$$0.6 + 2s + 2.650s^2 + 2s^3 + s^4 \quad (26)$$

Такой полином устойчив, следовательно, робастно устойчива и следящая система подъемного крана при изменении массы груза в заданном интервале.

1.4 Коэффициентный метод анализа робастной устойчивости

Коэффициентный метод анализа робастной устойчивости и качества систем с ИХП основан на достаточных условиях расположения полюсов САУ с интервальными параметрами в различных областях, соответствующих определенным корневым показателям качества. Эти достаточные условия используют интервальные коэффициенты характеристического полинома САУ.

$$D_n(s) = [a_n]s^n + [a_{n-1}]s^{n-1} + \dots + [a_0]. \quad (27)$$

где $\underline{a}_i \leq a_i \leq \overline{a}_i$;

\underline{a}_i – минимальное значение коэффициента a_i ;

\overline{a}_i – максимальное значение коэффициента a_i .

Чтобы система с ИХП была робастно устойчива (чтобы области локализации всех корней ИХП располагались в левой полуплоскости комплексной плоскости корней), достаточно выполнения следующей системы неравенств:

$$\overline{\lambda}_i = \frac{\overline{a_{i-1}} \overline{a_{i+2}}}{\underline{a}_i \underline{a_{i+1}}} \leq \lambda^*, \lambda^* \approx 0,465, \forall i = [1, n-2] \quad (28)$$

Эти неравенства содержат предельные значения интервальных коэффициентов ИХП. Очевидно, что для того, чтобы числовая дробь с интервальным числителем и интервальным знаменателем была меньше определенного числа, необходимо, чтобы ее числитель был максимальным, а знаменатель – минимальным. Число проверяемых в системе неравенств на два меньше порядка полинома. Так как данное условие является достаточным, то его невыполнение оставляет вопрос о робастной устойчивости ИХП открытым и требуются дополнительные исследования.

1.4.1 Анализ допустимой степени устойчивости

Задание минимальной (робастной) степени устойчивости САУ с интервальными параметрами ограничивает область Γ расположения корней интервального характеристического полинома вертикальной прямой, проходящей параллельно мнимой оси на расстоянии η . Эта область показана на рисунке 2.

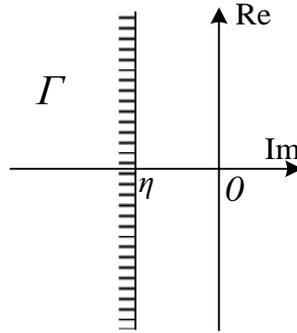


Рисунок 2 – Площадь корня

Из (28) известно, что для того чтобы степень робастной устойчивости интервального полинома (27) была больше заданной $\eta_{\text{зад}}$, достаточно выполнения следующей системы неравенств

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{\lambda}_{ik} = \frac{\overline{a_{i-1} a_{i+2}}}{(\underline{a}_i - \overline{a_{i+1}}(n-i-1)\eta_{\text{зад}})(\overline{a_{i+1}} - \underline{a_{i+2}}(n-i-2)\eta_{\text{зад}})} < \lambda^*, i = \overline{1, n-2}, \\ k=0 \text{ при } \underline{a_{i+1}}; k=1 \text{ при } \overline{a_{i+1}}; \\ \underline{a}_l - \overline{a_{l+1}}(n-l-1)\eta_{\text{зад}} \geq 0, l = \overline{1, n-1}; \\ \underline{a}_0 - \overline{a_1}\eta_{\text{зад}} + \frac{2\underline{a_2}\eta_{\text{зад}}^2}{3} \geq 0. \end{array} \right. \quad (29)$$

Выполнение неравенств гарантирует, что все корни полинома (27) лежат левее вертикальной прямой, проходящей через точку $(-\eta; j0)$, $0 \leq \eta \leq \infty$.

Для определения значения степени робастной устойчивости ИХП необходимо в системах неравенств увеличивать значение $\eta_{\text{зад}}$ до тех пор, пока будут справедливы неравенства [5].

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{\lambda_{ik}(\eta_{i\max})} = \frac{\overline{a_{i-1} a_{i+2}}}{\left(\overline{a_i - a_{i+1}(n-i-1)\eta_{i\max}}\right)\left(\overline{a_{i+1} - a_{i+2}(n-i-2)\eta_{i\max}}\right)} < \lambda^*, \\ i = 1, 2(n-2), k=0 \text{ при } \overline{a_{i+1}}; k=1 \text{ при } \overline{a_{i+1}}; \\ \overline{a_l - a_{l+1}(n-l-1)\eta_{i\max}} \geq 0, \quad l = \overline{1, n-1}; \\ \overline{a_0 - a_1\eta_{i\max}} + \frac{2\overline{a_2}(\eta_{i\max})^2}{3} \geq 0. \end{array} \right. \quad (30)$$

Найденное максимальное значение будет являться оценкой степени робастной устойчивости ИХП.

1.4.2 Анализ допустимой степени колебательности

Задание максимальной (робастной) колебательности САУ с интервальными параметрами ограничивает область Γ расположения корней интервального характеристического полинома двумя лучами АВ и СВ, которые составляют с вещественной осью угол $\varphi = \arctg \mu$ [6]. Образующий данными лучами сектор Γ показан на рисунке 3.

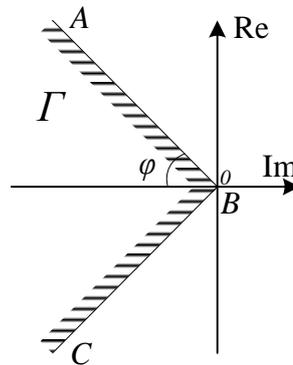


Рисунок 3 – Луч сектор Γ

Для расположения корней ИХП в желаемом секторе достаточно выполнения следующей системы неравенств [7][8]:

$$\overline{\delta_i} = \frac{\overline{a_i^2}}{\overline{a_{i-1} a_{i+1}}} \geq \delta_0, i = [1, n-2]. \quad (31)$$

где δ_0 – допустимый показатель колебательности, который определяется исходя из заданного сектора по графикам рисунка 4.

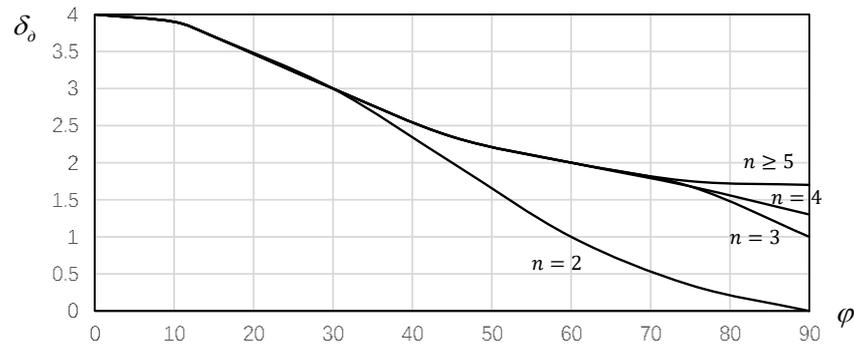


Рисунок 4 – График показатель колебаний

Для определения значения степени робастной колебательности ИХП необходимо в системах неравенств уменьшать угол сектора до тех пор, пока будут справедливы неравенства. Найденное предельное значение угла будут являться оценкой степени робастной колебательности ИХП [9].

1.4.3 Примеры

Рассмотрим систему автоматической стабилизации упругой силы, состоящую из упругого элемента, электропривода, датчика и регулятора силы натяжения. Характеристический полином системы имеет вид:

$$a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 = 0 \quad (32)$$

где $a_3 = mlJ$, $a_2 = Jx + m\chi r^2(1 + Tk_1k_2)$, $a_1 = Jc + mcr^2 + mk_1k_2r^2(x + Tc)$, $a_0 = mck_1k_2r^2$,

m – масса груза,

l – длина упругого элемента,

J – момент инерции электропривода системы,

x – удельный коэффициент демпфирования упругого элемента,

c – удельная жесткость упругого элемента,

r – радиус приводного шкива электропривода,

k_1, k_2 – соответственно коэффициент усиления электрической части привода и коэффициент передачи ПИ-регулятора,

T – постоянная времени ПИ-регулятора.

Постоянные параметры обобщенного объекта управления имеют значения: $J = 0.2 \text{ кгм}^2$, $x = 1 \times 10^4 \text{ нс}$, $c = 2 \times 10^4 \text{ н}$, $r = 0.05 \text{ м}$. Его интервальные

параметры заданы диапазонами: $m \in [50, 100]_{к2}, l \in [1, 20]_м, k_1 \in [5, 10]$. Настройки регулятора $k_2 = 0.1, T = 0.001с$ определены для средних значений интервальных параметров. Необходимо на основе разработанной процедуры анализа робастной региональной устойчивости построить МИКГ для данной системы стабилизации силы натяжения и по нему определить предельные значения корневых показателей качества системы.

Далее мы преобразуем характеристический полином в интервальную форму:

$$[A_3]s^3 + [A_2]s^2 + [A_1]s + [A_0] = 0 \quad (33)$$

Из которых

$$\begin{aligned} A_{31} &= m_1 \cdot l_1 \cdot J; \\ A_{32} &= m_2 \cdot l_2 \cdot J; \\ A_{21} &= J \cdot x + m_1 \cdot x \cdot r^2 \cdot (1 + T \cdot k_{11} \cdot k_2); \\ A_{22} &= J \cdot x + m_2 \cdot x \cdot r^2 \cdot (1 + T \cdot k_{12} \cdot k_2); \\ A_{11} &= J \cdot c + m_1 \cdot c \cdot r^2 + m_1 \cdot k_{11} \cdot k_2 \cdot r^2 (x + T \cdot c); \\ A_{12} &= J \cdot c + m_2 \cdot c \cdot r^2 + m_2 \cdot k_{12} \cdot k_2 \cdot r^2 (x + T \cdot c); \\ A_{01} &= m_1 \cdot c \cdot k_{11} \cdot k_2 \cdot r^2; \\ A_{02} &= m_2 \cdot c \cdot k_{12} \cdot k_2 \cdot r^2 \end{aligned} \quad (34)$$

где $A_{nq}, n = 0, 1, 2, 3; k_{1q}$ Когда $q = 1$, это указывает на минимальное значение интервала, а когда $q = 2$, это указывает на максимальное значение интервала. l_1, m_1 представляют собой минимум диапазона значений, а l_2, m_2 – максимум диапазона значений соответственно.

Подстановка параметров в уравнение (34) по отдельности дает следующие результаты:

$$\begin{aligned} A_{31} &= 10; A_{21} = 3.251 \times 10^3; A_{11} = 7.126 \times 10^3; A_{01} = 1.25 \times 10^3 \\ A_{32} &= 400; A_{22} = 4.503 \times 10^3; A_{12} = 1.151 \times 10^3; A_{02} = 5 \times 10^3 \end{aligned} \quad (35)$$

Подстановка результата расчета (35) в уравнение (28) дает следующий результат:

$$\frac{A_{02} \cdot A_{32}}{A_{11} \cdot A_{21}} = 0.086 \quad (36)$$

Полученное значение меньше 0.465, следовательно, ИХП устойчив.

Далее анализируется степень устойчивости системы:

Сначала зададим $\eta = 0.11$, затем подставим расчет (35) в уравнение (29), чтобы получить:

$$\begin{aligned} \frac{A_{02} \cdot A_{32}}{(A_{11} - A_{21} \cdot \eta) \cdot A_{21}} &= 0.091; \\ A_{11} - A_{22} \cdot \eta &= 6.631 \times 10^3; \\ A_{01} - A_{12} \cdot \eta + 2 \cdot A_{21} \cdot \frac{\eta^2}{3} &= 10.672; \\ F_1(\eta) &= \frac{A_{02} \cdot A_{32}}{(A_{11} - A_{21} \cdot \eta) \cdot A_{21}}; \\ F_2(\eta) &= A_{11} - A_{22} \cdot \eta; \\ F_3(\eta) &= A_{01} - A_{12} \cdot \eta + 2 \cdot A_{21} \cdot \frac{\eta^2}{3}; \\ \eta &= 0, 0.0001..0.2 \end{aligned} \quad (37)$$

Из результатов расчета (37) можно получить график системы относительно степени устойчивости ряда, как показано на рисунке 5:

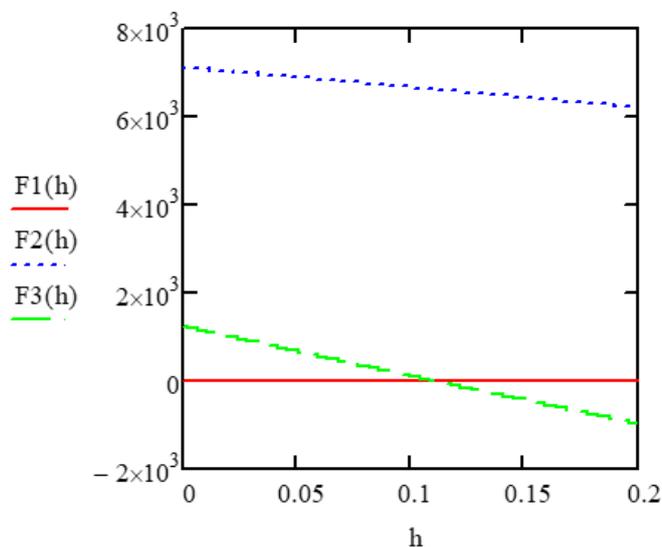


Рисунок 5 – Степень устойчивости системы диаграмма

Из решения неравенств видно, что ИХП имеет степень устойчивости, равную 0.11.

Наконец, давайте проанализируем степень колебаний системы.

Подставляя данные из результата (35) в уравнение (31), получаем:

$$\frac{A_{11}^2}{A_{02} \cdot A_{22}} = 2.256; \quad (38)$$

$$\frac{A_{21}^2}{A_{12} \cdot A_{32}} = 2.296$$

Далее мы можем построить график индекса колебаний системы (рисунок 6).

$$G_1(k) = A_{11}^2 - A_{02} \cdot A_{22} \cdot k;$$

$$G_2(k) = A_{21}^2 - A_{12} \cdot A_{32} \cdot k; \quad (39)$$

$$k = 0, 0.01..3$$

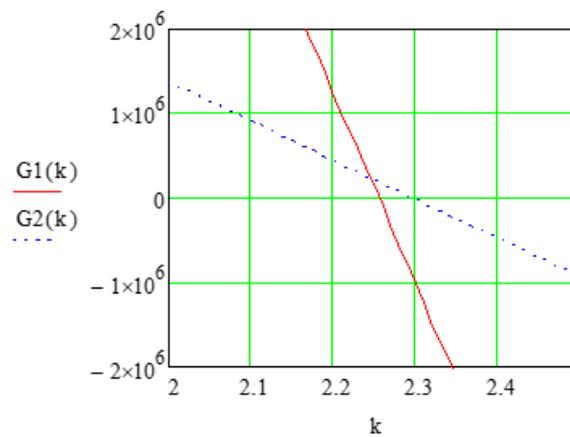


Рисунок 6 – График индекса осцилляции

Максимальный коэффициент $k=2.25$, при котором выполняются условия, соответствует углу 60 градусов.

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
158Т92	Ю Сяовэнь

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 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 оплата труда исполнителей проекта.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф электроэнергии 3,16 руб. кВт/ч., районный коэффициент 30 %.
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>	Оценить потенциальных потребителей исследования, проанализировать конкурентных решений, представить SWOT – анализ. Предложить возможные альтернативы проведения НИ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Представить план этапов работ, определить трудоёмкость и построить календарный график, сформировать бюджет НИ.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определить интегральные показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности разработки. Рассчитать сравнительную эффективность проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений. 2. Матрица SWOT-анализа 3. Морфологическая матрица 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, ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		01.03.2023.г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Ю Сяовэнь		01.03.2023.г

2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Исследование "Алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами" направлено на разработку и применение алгебраических методов для анализа и обеспечения устойчивости систем, где параметры представлены в виде интервалов. Потенциальными потребителями результатов этого исследования быть ученые, инженеры, проектировщики и производственных компаний, которым необходимо обеспечить стабильную работу системы, и т.д., работающие в области автоматического управления и системного анализа. Разработка таких методов может быть полезной для анализа и проектирования систем, где точные значения параметров неизвестны или подвержены вариации, таких как робототехника, авиационная и космическая техника, а также энергетические системы. Исследование предлагает новые инструменты и подходы, которые помогут потенциальным пользователям повысить устойчивость и надежность своих систем при неопределенности параметров.

2.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений в области алгебраических методов анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами может включать следующие критерии:

Точность: насколько точно техническое решение определяет робастную устойчивость системы с интервальными параметрами.

Вычислительная эффективность: скорость и эффективность вычислений, требуемых для анализа робастной устойчивости системы.

Простота использования: насколько легко использовать техническое решение для анализа робастной устойчивости системы.

Расширяемость: способность технического решения обрабатывать системы с большим числом интервальных параметров или более сложной структурой.

Надежность: способность технического решения давать корректные результаты при обработке систем с различными интервальными параметрами и при наличии ошибок в измерениях.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (40)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Следующий анализ проводится с помощью оценочной карточки, примером которой является таблица 2.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышенная точность	0.23	3	4	4	0.69	0.92	0.92
2. Повышенная эффективность вычислений	0.12	3	4	3	0.36	0.48	0.36
3. Простота использования	0.12	4	4	5	0.48	0.48	0.6
4. Расширяемость	0.10	4	4	4	0.40	0.40	0.40
5. Надежность	0.15	3	5	5	0.45	0.75	0.75

Критерии для сравнения и оценки в таблице 2 были выбраны на основе собственных технико-экономических характеристик с точки зрения проектирования, строительства и эксплуатации.

Развитие и конкуренты оцениваются по пятибалльной шкале, где 1 – самая слабая позиция, а 5 – самая сильная.

В результате оценки конкурентных технических решений было выявлено, что каждое решение имеет свои сильные и слабые стороны. Технические решения, обеспечивающие более высокую точность и расширяемость, часто требуют большего времени на вычисления и имеют более сложный интерфейс. В то же время, более простые в использовании решения, часто обладают меньшей точностью и не способны обрабатывать более сложные системы. Таким образом, выбор технического решения должен основываться на учете требований конкретного проекта, таких как сложность системы и доступные ресурсы вычислительной мощности.

2.1.3 SWOT- анализ

Рассмотрим возможный SWOT-анализ для данной области:

- Strengths (сильные стороны) - алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами обладают следующими преимуществами:

- 1) возможность анализировать системы с неопределенными параметрами;
- 2) учет различных видов возмущений и шумов в системе;
- 3) возможность рассмотрения множества параметров системы;
- 4) использование алгебраических методов, что упрощает анализ и позволяет получить точные результаты.

Weaknesses (слабые стороны) - алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами имеют следующие недостатки:

- 5) Сложность вычислений;
- 6) Трудность интерпретации результатов;

7) Ограничения на вид систем, которые могут быть проанализированы с помощью этих методов.

Opportunities (возможности) - возможности для применения алгебраических методов анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами могут быть связаны с:

8) Ростом числа систем с неопределенными параметрами в различных отраслях, например, в медицине, транспорте, энергетике и т.д.;

9) Возрастающей потребностью в точных и надежных методах анализа систем.

Threats (угрозы) - угрозы, связанные с использованием алгебраических методов анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами, могут быть связаны с:

10) Появлением конкурирующих методов анализа систем с неопределенными параметрами;

11) Трудностями в реализации методов в различных программах и устройствах;

12) Ограничениями на доступность специалистов, владеющих необходимыми знаниями и навыками для применения этих методов.

SWOT-анализ позволяет оценить сильные и слабые стороны алгебраических методов анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами, а также выявить возможности и угрозы для их применения. (таблица 3).

Таблица 3 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны научноисследовательского проекта:</p> <p>С1. возможность анализировать системы с неопределенными параметрами.</p> <p>С2. учет различных видов возмущений и шумов в системе.</p> <p>С3. возможность рассмотрения множества параметров системы.</p> <p>С4. использование алгебраических методов, что упрощает анализ и позволяет получить точные результаты.</p>	<p>Слабые стороны научноисследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Сложность вычислений.</p> <p>Сл2. трудность интерпретации результатов.</p> <p>Сл3. ограничения на вид систем, которые могут быть проанализированы с помощью этих методов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. ростом числа систем с неопределенными параметрами в различных отраслях, например, в медицине, транспорте, энергетике и т.д.</p> <p>В2. возрастающей потребностью в точных и надежных методах анализа систем.</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. появлением конкурирующих методов анализа систем с неопределенными параметрами;</p> <p>У2. трудностями в реализации методов в различных программах и устройствах</p> <p>У3. ограничениями на доступность специалистов, владеющих необходимыми знаниями и навыками для применения этих методов.</p>

Окончательная матрица SWOT-анализа представлена в таблице 4:

Таблица 4 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научноисследовательского проекта:</p> <p>С1. возможность анализировать системы с неопределенными параметрами.</p> <p>С2. учет различных видов возмущений и шумов в системе.</p> <p>С3. возможность рассмотрения множества параметров системы.</p> <p>С4. использование алгебраических методов, что упрощает анализ и позволяет получить точные результаты.</p>	<p>Слабые стороны научноисследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Сложность вычислений.</p> <p>Сл2. трудность интерпретации результатов.</p> <p>Сл3. ограничения на вид систем, которые могут быть проанализированы с помощью этих методов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. ростом числа систем с неопределенными параметрами в различных отраслях, например, в медицине, транспорте, энергетике и т.д.</p> <p>В2. возрастающей потребностью в точных и надежных методах анализа систем.</p>	<p>С1. возможность анализировать системы с неопределенными параметрами.</p> <p>С3. возможность рассмотрения множества параметров системы.</p>	<p>Сл2. трудность интерпретации результатов.</p> <p>Сл3. ограничения на вид систем, которые могут быть проанализированы с помощью этих методов.</p>

Продолжение таблицы 4

<p>Угрозы:</p> <p>У1. появлением конкурирующих методов анализа систем с неопределенными параметрами;</p> <p>У2. трудностями в реализации методов в различных программах и устройствах</p> <p>У3. ограничениями на доступность специалистов, владеющих необходимыми знаниями и навыками для применения этих методов.</p>	<p>С1. возможность анализировать системы с неопределенными параметрами.</p> <p>С2. учет различных видов возмущений и шумов в системе.</p> <p>С4. использование алгебраических методов, что упрощает анализ и позволяет получить точные результаты.</p>	<p>Сл1. Сложность вычислений.</p> <p>Сл2. трудность интерпретации результатов.</p> <p>Сл3. ограничения на вид систем, которые могут быть проанализированы с помощью этих методов.</p>
---	--	---

2.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Возможные альтернативы проведения научных исследований в области "Алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами" могут включать:

Статистический анализ: Проведение статистического анализа данных, собранных из предыдущих исследований или реальных систем, чтобы определить статистическую связь между интервальными параметрами и робастной устойчивостью системы. Это может включать методы регрессионного анализа, корреляционного анализа и другие статистические подходы.

Теоретическое исследование: Разработка новых математических моделей и теоретических методов для анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами. Это может включать разработку новых алгебраических подходов, аналитических методов или комбинацию существующих теоретических фреймворков.

Компьютерное моделирование: Создание компьютерных моделей, которые могут использоваться для симуляции систем с интервальными

параметрами и анализа их робастной устойчивости. Это позволит проводить большое количество вариаций и экспериментов, которые могут быть трудно или невозможно выполнить в реальном времени.

Эти альтернативы могут быть использованы как самостоятельно, так и в комбинации друг с другом, в зависимости от конкретных целей исследования и доступных ресурсов.

Например, для алгебраических методов анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами в качестве таких характеристик можно выделить:

Параметры системы: интервальные параметры, определяющие структуру и характеристики системы. Это могут быть, например, интервальные значения коэффициентов математических моделей системы.

Алгебраические операции: методы и операции, используемые для анализа и решения систем с интервальными параметрами. Это может включать интервальную алгебру, интервальные матрицы и операции над интервальными величинами.

Робастная устойчивость: исследование робастной устойчивости системы с учетом вариации интервальных параметров. Это может включать анализ стабильности и устойчивости системы в условиях изменения интервальных параметров.

Практический интерес: получение различных решений и оценка робастной устойчивости системы с интервальными параметрами. Это позволяет оценить надежность и эффективность системы в реальных условиях, учитывая возможные вариации параметров.

Морфологический подход может быть применен в контексте данного исследовательского проекта для систематического анализа и выявления различных вариантов и характеристик, связанных с робастной устойчивостью системы с интервальными параметрами.

Пример морфологической матрицы приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Морфологическая матрица

	1	2	3
Параметры системы	Интервальные значения коэффициентов математической модели системы	Интервальные значения временных задержек в системе	Интервальные значения внешних возмущений системы
Алгебраические операции	Интервальные операции над матрицами	Решение интервальных алгебраических уравнений	Применение интервальных функций в анализе систем
Робастная устойчивость	Оценка робастной устойчивости при изменении интервальных параметров	Анализ влияния интервальных параметров на стабильность системы	Разработка методов для повышения робастной устойчивости системы
Практический интерес	Применение алгебраических методов для анализа реальных систем	Оптимизация интервальных параметров для достижения требуемых характеристик

2.3 Планирование научно-исследовательских работ

2.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 6 приведены задачи для каждого этапа и исполнители задач.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Планирование	2	Определение целей и задач проекта	Руководитель
	3	Анализ требований	Руководитель, Исследователь
	4	Разработка плана проекта	Руководитель
Исследование и анализ	5	Поиск и анализ информации о робастной устойчивости систем с интервальными параметрами	Исследователь
Выбор и адаптация методов анализа	6	Определение методов анализа робастной устойчивости с интервальными параметрами	Исследователь

Продолжение таблицы 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка и реализация алгоритмов и моделей	7	Программирование алгоритмов и моделей для анализа систем с интервальными параметрами	Исследователь
Тестирование и проверка	8	Проверка работоспособности разработанных алгоритмов и моделей	Руководитель, Исследователь
Анализ результатов	9	Анализ полученных данных	Исследователь
Документация	10	Подготовка отчетов и документации	Исследователь
Представление результатов	11	Презентация результатов исследования	Исследователь

2.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (41)$$

где $t_{ож\ i}$ – 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.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p ,

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (42)$$

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

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

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

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 7).

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

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	$t_{ожі}$, чел-дни			
Разработка технического задания	2	7	4	Руководитель Исследователь	4	6
Планирование	3	7	4.6	Руководитель, Исследователь	2,3	3
Исследование и анализ	5	7	5.8	Исследователь	5,8	8
Выбор и адаптация методов анализа	7	10	8.2	Исследователь	8,2	12
Разработка и реализация алгоритмов и моделей	8	11	9.2	Исследователь	9,2	13
Тестирование и проверка	4	5	4.4	Руководитель, Исследователь	2,2	3
Анализ результатов	3	5	3.8	Исследователь	3,8	5
Документация	5	7	5.8	Исследователь	5,8	8
Представление результатов	1	2	1.4	Исследователь	1,4	2

2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Электроэнергия	кВт	32	3,16	101,12
Интернет			200	400
Итого				501,12

Подробная информация об оборудовании, необходимом для проведения эксперимента, и его цена занесены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	
	Исп.1	Исп.2
Компьютеры	100000	100000
Программное обеспечение по математике	211750	423500
Информационные ресурсы	2000	2200
Итого	313750	525700

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + K_{IP} + K_\delta) \cdot K_p \quad (43)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{TC} , руб.	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.	Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30%
Руководитель	39300	1,3	51090	2482,11	8,5	21097,89	6329,37
Исследователь	16242	1,3	21114,6	1025,81	42,78	43802,11	13140,63
Итого						64900,00	19470,00

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Текущий проект (исп.1)	Исп.2
1. Материальные затраты НТИ	501,12	501,12
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	313750	525700
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	64900,00	64900,00
4. Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30%	19470,00	19470,00
Итого	398621,12	610571,1

2.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Комплексные показатели финансовой эффективности научных исследований получают в процессе оценки бюджетов затрат трех и более программ выполнения научных заданий (см. таблицу 12). Поэтому в качестве знаменателя расчета, к которому привязывается финансовая стоимость всех программ внедрения, необходимо использовать наивысший комплексный показатель выполнения технического задания.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (44)$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

По данным таблицы 12 можно получить, что:

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{398621.12}{610571.1} = 0.7;$$

$$I_{финр}^{исп.2} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{610571.1}{610571.1} = 1 \quad (45)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (46)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 12).

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект (исп.1)	Исп.2
1. Повышенная точность	0,20	4	3
2. Повышенная эффективность вычислений	0,20	5	4
3. Простота использования	0,20	4	3
4. Расширяемость	0,15	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 4 \times 0,2 + 5 \times 0,2 + 4 \times 0,2 + 5 \times 0,15 + 4 \times 0,25 = 4,35;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \times 0,2 + 4 \times 0,2 + 3 \times 0,2 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,25 = 3,6 \quad (47)$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя

ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.исп.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.исп.2}} \quad (48)$$

После сравнения комплексных показателей эффективности вариантов развития была определена сравнительная эффективность проекта (см. таблицу 13) и выбран наиболее подходящий вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проектов (Э_{ср}):

$$\text{Э}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (49)$$

Таблица 13 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект (исп.1)	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,7	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.4	3.6
3	Интегральный показатель эффективности	6,3	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,75	

Сравнение общих показателей показывает, что первая версия программы диаграмма является наиболее эффективной с финансовой точки зрения и с точки зрения ресурсов диаграмма. Исходя из данных таблицы 13, можно сделать вывод, что разработка в исполнении 1 эффективнее вариантов в исполнении 2 на 75%.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
158Т92	Ю Сяовэнь

ШКОЛА	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема дипломной работы: «Алгебраические методы анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения)</p>	<p>Объект исследования: Системы управления с интервальными параметрами. Область применения: Автоматизированное управление и контроль. Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения (климатическая зона*): $5m \times 6m = 30m^2$ Количество и наименование оборудования рабочей зоны: Использовать математическое программное обеспечение на компьютере для построения моделей, проверки данных и других операций. Необходимое оборудование: ноутбук и математическое программное обеспечение, такое как Matlab. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: Проводятся измерения системы управления, обрабатываются данные, создаются и тестируются модели и т.д., а результаты проверки надежности системы доводятся до соответствующего персонала.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. От 25.02.2022); ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009 Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком; ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.</p>

<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Воздействие на селитебную зону: При работе измерительного оборудования могут возникать шумы. Воздействие на литосферу: <i>Нет влияния</i> Воздействие на гидросферу: Нет влияния Воздействие на атмосферу: Нет влияния</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Возможные ЧС:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Пожар: Пожар может возникнуть из-за перегрева оборудования, короткого замыкания, ошибки в электрической проводке и других причин. 2. Нарушение электробезопасности: При работе с электрическим оборудованием может возникнуть риск поражения электрическим током. 3. Механические повреждения: При работе с оборудованием могут возникнуть риски получения травмы от движущихся деталей, падения предметов, а также других механических повреждений. <p>Наиболее типичная ЧС: Отказ оборудования: Если какое-либо измерительное или испытательное оборудование перестает работать или дает некорректные данные, это может привести к потенциально опасным ситуациям, если не будут приняты соответствующие меры.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158T92	Ю Сяовэнь		

3 Социальная ответственность

3.1 Введение

Проект исследования Алгебраических методов анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами имеет широкую область применения в различных сферах, связанных с управлением техническими системами. Разработка решений на основе алгебраических методов является важным шагом в повышении надежности и безопасности различных технических систем.

Потенциальными пользователями разрабатываемого решения являются инженеры и специалисты в области управления техническими системами, а также компании, занимающиеся разработкой и производством технических систем.

Административное или географическое положение места выполнения работ не ограничено и может быть расположено в любой части мира, где существуют проблемы с управлением техническими системами.

В связи с растущим количеством технических систем, которые нуждаются в надежном управлении, разработка решений на основе алгебраических методов чейной и социально значимой. Успешное развитие проекта позволит повысить уровень безопасности и надежности технических систем, что сделает жизнь людей более комфортной и безопасной. Кроме того, разработка и использование решений на основе алгебраических методов способствует экономическому росту и улучшению конкурентоспособности компаний, занимающихся производством технических систем.

Таким образом, социальная значимость проекта состоит в повышении безопасности технических систем, обеспечении комфортной жизни людей и способствовании экономическому росту и развитию отраслей, связанных с производством технических систем.

3.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочая неделя ограничена 40 часами для каждого работника, с перерывом на еду и отдых с 12:00 до 14:00.

Мы не разглашаем личные данные никому без их согласия.

Кроме того, мы обеспечиваем свободу передвижения на рабочем месте и безопасность трудовых операций, а в случае, если сотрудники должны работать в опасных условиях, мы с их согласия предоставляем им дополнительное вознаграждение в соответствии с законодательством за отработанные часы и степень опасности.

3.3 Производственная безопасность

Все производственные факторы по сфере своего происхождения подразделяют на следующие две основные группы:

- факторы производственной среды;
- факторы трудового процесса.

В этом пункте анализируются потенциальные вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации испытания, как показано в таблице 14:

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
<p>Опасные факторы:</p> <p>1.Неподвижные режущие, колющие, обдирающие,разрывающие части твердых объектов.</p> <p>2.Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений;</p> <p>Вредные факторы:</p> <p>1.Повышенный уровень общей вибрации;</p> <p>2. Повышенный уровень шума;</p> <p>3.Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</p> <p>4.Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.</p>	<p>1.ГОСТ 12.1.003-2014</p> <p>2. ГОСТ 31192.1-2004</p> <p>3.ГОСТ 12.1.019-2017</p> <p>4.ГОСТ Р 55710-2013</p> <p>5.ГОСТ 12.1.019-2017</p>

Источники и возможные последствия опасностей и опасных факторов [10]:

- Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов: При установке оборудование имеет острые края, которые могут стать причиной царапин при контакте персонала с оборудованием. По этой причине персонал должен надевать перчатки при работе, чтобы предотвратить прямой контакт с оборудованием.

Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений:

- Из-за широкого спектра приложений, в которых изучается робастная устойчивость систем, существуют некоторые рабочие ситуации, в которых может быть использовано излучение. Хорошо известно, что радиация оказывает множество вредных воздействий на организм человека, таких как острая лучевая болезнь, повреждение центральной нервной системы, местные лучевые ожоги и т.д. Поэтому, работая на рабочем месте, где присутствует радиация, работники могут предотвратить ее, надевая радиационно-защитную одежду.

Повышенный уровень шума:

- При работе на станках и оборудовании возможно возникновение большого количества шума. Длительный шум окружающей среды может нарушать сон, вызывая бессонницу, усталость и слабость, потерю памяти и даже неврастению, что может серьезно повлиять на нормальную жизнь. Поэтому работники могут уменьшить беспокойство, вызванное шумом, надев наушники.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения:

- Большинство причин недостаточного искусственного освещения связано с отсутствием естественного света на рабочем месте и тем, что искусственное освещение не может соответствовать требованиям, поэтому количество светильников, необходимых для искусственного освещения на рабочем месте, должно рассчитываться в соответствии с реальной ситуацией при проектировании рабочего места.

Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего:

– На практике микроклимат (например, влажность воздуха) на рабочем месте работника не соответствует требованиям, что потенциально может вызвать такие проблемы, как сухой кашель и потрескавшиеся губы. В таких случаях микроклимат может быть улучшен путем разбрызгивания воды, использования увлажнителей воздуха и т.д.

3.4 Условия рабочего места

Рабочее место расположено на первом этаже, помещение размером 5 м х 6 м и высотой 3 м, одно окно выходит на север, в помещении находятся 2 единицы технического оборудования и 2 человека.

Опасности включают следующее.

- Излучение от электронного оборудования.
- Излучение составляет менее 10мкбэр/ч, в пределах допустимых норм.
- Показатели микроклимата [12].
- Температура воздуха около 24°C; относительная влажность воздуха - 40-60%; скорость движения воздуха не более 0,1 м/с, в безопасных пределах.
- Освещение рабочей зоны [11].
- Тип светильника - лампа накаливания, количество ламп - 2, в пределах безопасного диапазона.
- Электробезопасность.

Прибор рассчитан на напряжение 230 вольт и имеет предохранитель, который автоматически отключает цепь в случае электрического замыкания.

В целом, условия на рабочем месте соответствуют требованиям безопасности, а меры безопасности предусмотрены на случай непредвиденных ситуаций.

3.5 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность [13] – допустимый уровень негативного воздействия природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

При исследовании устойчивости систем не наносится никакого вреда водным ресурсам, литосфере или воздуху, поскольку это в основном теоретические исследования. Однако существуют такие проблемы, как повреждение оборудования и старение.

Поэтому старое или поврежденное оборудование может быть продано на рынке подержанных товаров или классифицировано в соответствии с различными материалами в оборудовании и утилизировано отдельно в соответствии с различными материалами. Это позволит избежать вреда для окружающей среды.

3.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для проекта исследования Алгебраических методов анализа робастной устойчивости систем с интервальными параметрами могут возникнуть следующие ситуации, требующие немедленного реагирования в целях обеспечения безопасности и защиты оборудования:

Основные факторы безопасности следующие:

Пожар: пожар может возникнуть из-за перегрева оборудования, короткого замыкания, ошибки в электрической проводке и других причин. Необходимо обеспечить наличие огнетушителей, дымовых извещателей и других систем пожарной безопасности для предотвращения возникновения и распространения пожара.

Нарушение электробезопасности: при работе с электрическим оборудованием может возникнуть риск поражения электрическим током. Необходимо обеспечить соответствие оборудования электробезопасности, а также провести обучение персонала правилам безопасной работы с электричеством.

Механические повреждения: при работе с оборудованием могут возникнуть риски получения травмы от движущихся деталей, падения предметов, а также других механических повреждений. Необходимо обеспечить правильное использование оборудования, а также предоставить персоналу необходимые средства защиты.

Все эти ситуации требуют немедленного реагирования и принятия соответствующих мер для обеспечения безопасности и защиты оборудования и персонала.

Наиболее вероятная ЧС – отказ оборудования: если какое-либо измерительное или испытательное оборудование перестает работать или дает некорректные данные, это может привести к потенциально опасным ситуациям, если не будут приняты соответствующие меры. Поэтому для предотвращения такой аварийной ситуации следует регулярно проверять оборудование, чтобы не допустить несчастных случаев.

3.7 Выводы по разделу

В этой статье мы сначала проанализируем правовую и организационную безопасность работников, определив такие вопросы, как рабочее время работников, рабочие места и дополнительная оплата труда в опасных условиях.

Затем мы провели анализ безопасности технологического процесса в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21, классифицировали факторы риска, перечислили возможные опасные и вредные факторы и их возможные последствия, предложили эффективные меры по предотвращению возможных вредных факторов.

Затем были проанализированы условия на рабочем месте с точки зрения электронного излучения, показателей микроклимата, освещения рабочей зоны и электробезопасности, и был сделан вывод, что условия на рабочем месте соответствуют требованиям безопасности, а также были приняты меры предосторожности для данной ситуации.

Далее мы проанализировали вопросы экологической безопасности и чрезвычайных ситуаций, где нет риска для воды, литосферы и воздуха, но есть

проблемы со стареющим оборудованием и решениями. Для чрезвычайных ситуаций мы перечислили основные факторы безопасности и наиболее вероятные чрезвычайные ситуации, включая причины их возникновения, возможные последствия и профилактические меры.

В заключение следует отметить, что отчетность о социальной ответственности является одним из ключевых факторов обеспечения бесперебойной работы проекта. Учет правовых, организационных и производственных аспектов позволяет минимизировать потенциальные риски проекта, обеспечить безопасность и здоровье сотрудников и реализовать социальную ценность проекта.

Заключение

Данная работа посвящена математическому описанию и методам анализа устойчивости систем управления с интервально-неопределенными параметрами. Описываются структурная схема системы управления и классифицируются типы неопределенности. Неопределенность характеристического полинома далее преобразуется в интервальную форму.

В главе 2 с помощью критерия Гурвица определяется максимальный интервальный диапазон для робастной устойчивости. Критерий устойчивости получается путем вычисления корреляционного уравнения. Обоснованность метода проверяется на примерах.

В главе 3 теорема Харитонова применяется для анализа робастной устойчивости. Представлено применение теоремы Харитонова для анализа робастной устойчивости. Приводится проверочный полином Харитонова для систем управления низкого порядка и приводятся некоторые примеры.

В главе 4 представлен анализ коэффициентов характеристического уравнения системы, включая определение ряда устойчивости системы, ряда степени устойчивости системы и степени колебательности на основе коэффициентов.

В целом, в данном исследовании представлены математическое описание и метод анализа для систем управления с интервальными параметрами неопределенности. Эти методы могут помочь инженерам оценить робастную устойчивость системы и провести анализ производительности. Понимая источники неопределенности и диапазон робастных характеристик системы, мы можем проектировать более надежные и стабильные системы управления.

Список использованных источников

1. Захаров А.В. Шокин Ю.И. Синтез систем управления при интервальной неопределенности параметров их математических моделей // ДАН СССР. 1988. Т. 299 № 2. С. 292–295.
2. Римский Г.В. Корневой метод решения задач устойчивости интервальных систем // Вести АН Белоруси. Сер. физ.-техн. наук. 1994. № 4. – С. 80–85.
3. 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.
4. Гайворонский С.А. Вершинный анализ корневых показателей качества системы с интервальными параметрами // Известия Томского политехнического университета, 2006. – №7. – С. 6–9.
5. 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.
6. 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.
7. Gayvoronskiy S.A., Ezangna 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
8. 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.
9. 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.

10. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 18.05.2023) – Текст: электронный.

11. СНиП 23-05-95*. Система нормативных документов в строительстве. строительные нормы и правила российской федерации. Естественное и искусственное освещение: дата введения 2017-05-08. – URL: <https://kola.rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/kola/uploaded-files/08-16-sp-52133302016-estestvennoe-i-iskusstvennoe-osveshchenie-aktualizirovannaya-redaktsiya-snip-23-05-95-1.pdf> (дата обращения: 18.05.2023) – Текст: электронный.

12. ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 18.05.2023) – Текст: электронный.

13. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с изменениями на 30 декабря 2022 года). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560IO> (дата обращения: 18.05.2023) – Текст: электронный.