

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

Институт кибернетики
Направление подготовки управление в технических системах
Кафедра автоматизации и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Анализ робастного качества систем автоматического управления с интервальной и аффинной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома

УДК 681.51.015.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Лань Гунбо		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Гайворонский С.А.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по направлению

27.04.04 «Управление в технических системах»

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

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
 Направление подготовки управление в технических системах
 Кафедра автоматики и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8АМ41	Лань Гунбо

Тема работы:

Анализ робастного качества систем автоматического управления с интервальной и аффинной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 701/с от 01.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	$k_{дв} = 5 \text{ Н/В}; T_{дв} = 0,01 \text{ с}; C_E = 0,05 \text{ В} \cdot \text{с/рад}; J = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$ $k_y = 100; T_y = 0 \text{ с}; C_{уд} = 1000000 \text{ Н/м}; \chi_{уд} = 100000 \text{ Н} \cdot \text{с/м};$ $m = [50; 100] \text{ кг}; l = [50; 100] \text{ м}; k_1 = [5; 10]; r = 0,1 \text{ м};$
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Определение проверочных вершин многогранных интервальных коэффициентов полинома. Алгоритм определения корневых показателей качества САУ. Свойства отображения многогранника интервальных параметров системы. Методика определения корневых показателей качества САУ Функциональная схема системы силовой разгрузки Структурная схема системы силовой разгрузки

	<p>Передаточные функции системы силовой разгрузки</p> <p>Анализ робастного качества системы с интервальной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома</p> <p>Анализ робастного качества системы с аффинной неопределенностью параметров</p>
Перечень графического материала	<p>Слайд 1. Название темы.</p> <p>Слайд 2. Цель и задачи.</p> <p>Слайд 3. Введение.</p> <p>Слайд 4. Определение проверочных вершин многогранника интервальных коэффициентов полинома</p> <p>Слайд 5. Методика определения корневых показателей качества САУ</p> <p>Слайд 6. Свойства отображения робастного многогранника интервальных параметров системы.</p> <p>Слайд 7. Алгоритм реберного маршрута.</p> <p>Слайд 8. Методика определения корневых показателей качества САУ.</p> <p>Слайд 9. Функциональная схема системы силовой разгрузки.</p> <p>Слайд 10. Преобразованная структурная схема ССР.</p> <p>Слайд 11. Передаточная функция.</p> <p>Слайд 12. Получение характеристического полинома с интервальной неопределенностью коэффициентов</p> <p>Слайд 13. Интервальный корневой годограф.</p> <p>Слайд 14. Получение характеристического полинома с аффинной неопределенностью коэффициентов.</p> <p>Слайд 15. многопараметрический интервальный корневой годограф.</p> <p>Слайд 16. Моделирование процессов в системе силовой разгрузки при изменении интервальных параметров.</p> <p>Слайд 17. Заключение.</p>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента, к.э.н. Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Доцент кафедры ЭБЖ, к.т.н. Анищенко Ю. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<p>Анализ робастного качества САУ с интервальной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома</p> <p>Анализ робастного качества вершин САУ с аффинной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома</p> <p>Математическая модель системы силовой разгрузки с интервальными параметрами</p> <p>Анализ робастного качества системы силовой разгрузки</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС ИК	Гайворонский С.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Лань Гунбо		

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики
 Направление подготовки (специальность) управление в технических системах
 Уровень образования магистратура
 Кафедра Автоматики и компьютерных систем
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.05.16	Основная часть	60
24.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
28.05.16	Социальная ответственность	10
25.05.16	Обязательное приложение на иностранном языке	15

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 97 страниц, 21 рисунок, 18 таблиц, 33 источников, 16 слайдов, 1 приложения.

Ключевые слова: интервальная неопределенность, аффинная неопределенность, робастное качество управления, характеристический полином, маршрутизация, ребра многогранника.

Объект исследования: система автоматического управления, имеющая интервально заданные параметры.

Цель работы – разработка методик и анализ робастного качества САУ с интервальной и аффинной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома.

В процессе работы рассмотрены два типа коэффициентов характеристического полинома с интервальной и аффинной неопределенностью. Для каждого типа разработана методика анализа корневых показателей робастного качества. Для первого типа предложено находить проверочные вершины многогранника интервальных коэффициентов полинома, а для второго – использовать реберную маршрутизацию для отображения многогранника интервальных параметров системы. В качестве вычислительного инструмента для анализа показателей робастного качества использовались пакеты MathCAD и MatLab, на основе которых была разработана программа построения интервального корневого годограф. Сравнение подходов показало, что более точные результаты получаются при использовании аффинной зависимости коэффициентов полинома от реальных параметров системы. Теоретические результаты проверены на системе силовой разгрузки, для которой проведено числовое моделирование в пакете MatLab.

В работе также рассмотрены вопросы социальной ответственности, финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ССР – систем силовой разгрузки;

САУ – систем автоматического управления;

ППП – пакет прикладных программ;

ЧПУ – числовое программное управление;

ЭДС – электродвижущая сила;

ОГЛАВНЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	12
Глава 1. Анализ робастного качества САУ с интервальной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома.....	16
1.1 Постановка задачи	16
1.2 Определение проверочных вершин многогранника интервальных коэффициентов полинома.....	16
1.3 Алгоритм определения корневых показателей качества САУ	19
1.4 Числовой пример.....	19
1.5 Вывод.....	20
Глава 2. Анализ робастного качества вершин САУ с аффинной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома.....	21
2.1 Постановка задачи	21
2.2 Свойства отображения многогранника интервальных параметров системы.....	21
2.4 Методика определения корневых показателей качества САУ	23
2.5 Числовой пример.....	24
Глава 3. Математическая модель системы силовой разгрузки с интервальными параметрами.....	25
3.1 Постановка задачи	25
3.2 Функциональная схема системы силовой разгрузки.....	26
3.3 Структурная схема системы силовой разгрузки	28
3.4 Передаточные функции системы силовой разгрузки	29
Глава 4. Анализ робастного качества системы силовой разгрузки.....	32
4.1 Анализ робастного качества системы с интервальной	

неопределенностью коэффициентов характеристического полинома	32
4.2 Анализ робастного качества системы с аффинной неопределенностью параметров.....	35
4.3 Моделирование процессов в системе силовой разгрузки при изменении интервальных параметров.....	40
4.4 Выводы.....	45
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	46
5.1 Производственная безопасность	46
5.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	46
5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	46
5.2 Экологическая безопасность.....	52
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	53
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	56
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	59
6.1 Организация и планирование работ.....	59
6.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ	62
6.1.2 Расчет накопления готовности проекта	66
6.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	67
6.2.1 Расчет материальных затрат НТИ	68
6.2.2 Расчет заработной платы	70
6.2.3 Расчет затрат на социальный налог.....	71
6.2.4 Расчет затрат на электроэнергию	71

6.2.5 Расчет амортизационных расходов	72
6.2.6 Расчет прочих расходов	73
6.2.7 Расчет общей себестоимости разработки	73
6.2.8 Прибыль	74
Примем прибыль в размере 5 - 20 % от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 33624,87 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.....	74
6.2.9 НДС	74
6.2.10 Цена разработки НИР	74
6.3 Оценка экономической эффективности проекта	74
6.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР	75
Заключение	80
Приложение А	81
The mathematical model of the system weight compensate with interval parameters	82
Список литература	91

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация современных технологических процессов с механическим и электротехническим оборудованием требует максимального учета особенностей объектов управления, в частности - возможность изменения их параметров в процессе функционирования. Речь идет о таких технологических объектах, как манипуляторы, промышленные роботы, станки с ЧПУ, прокатные станы, антенные установки, бумагоделательные машины. Такие объекты могут иметь интервальные параметры, которые изменяются в определенных пределах по заранее неизвестным законам [1,2,3]. Примеры объектов и их переменных параметров приведены в таблице 1.

Разработчику САУ с такими объектами необходимо решать задачу анализа сохранения устойчивости систем при любых изменениях параметров объектов из известных диапазонов. Если САУ остается устойчивой, то говорят о ее робастной устойчивости. При этом оценками робастной устойчивости могут быть корневые показатели: степень робастной устойчивости и степень робастной колебательности. Первый показатель соответствует минимальной степени устойчивости САУ при изменении параметров, а второй – ее максимальную колебательность.

Данные показатели можно найти на основе расположения областей локализации полюсов САУ.

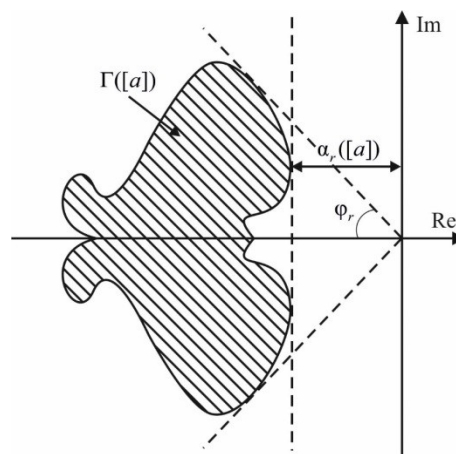


Рисунок 1 – Область локализации полюсов САУ

В коэффициенты характеристического полинома интервальные параметры системы могут входить различным образом [4,5,6]:

1. коэффициенты являются интервальными параметрами
2. коэффициенты образованы суммой или разностью интервальных параметров
3. коэффициенты линейно зависят от каждого параметра
4. коэффициенты полиномиально зависят хотя бы от одного параметра

Соответственно коэффициенты характеристического полинома САУ имеют

1. интервальную неопределенность
2. аффинную неопределенность
3. полилинейную неопределенность
4. полиномиальную неопределенность

Для анализа робастной устойчивости САУ с интервальной неопределенностью коэффициентов полинома используют теорему Харитонова [Ошибка! Источник ссылки не найден.], согласно которой для устойчивости САУ с полиномом

$$P(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i, \quad \underline{a}_i \leq a_i \leq \overline{a}_i, \quad (0.1)$$

где a_i - интервальные коэффициенты, \overline{a}_i - максимальное значение a_i , а \underline{a}_i - его минимальное значение, достаточно устойчивости 4-х полиномов, составленных из крайних значений коэффициентов, чередующихся парами (два нижних значения – два верхних)

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

Известно, что для определения величин робастной степени устойчивости и колебательности при интервальной неопределенности коэффициентов

полинома достаточно найти его корни во всех 2^m вершинах многогранника интервальных коэффициентов, где m – количество интервальных коэффициентов, и выбрать искомые значения [7, 8].

Однако количество вершин может быть слишком большим и не все из них могут определять корневые показатели робастного качества. Поэтому следует решить задачу нахождения только необходимых проверочных вершин.

Для количественного анализа робастной устойчивости САУ с аффинной неопределенностью разработан способ, основанный на реберной теореме [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Согласно этой теореме САУ робастно устойчива, если она устойчива на всех ребрах многогранника интервальных параметров САУ. При отображении этих ребер на корневую плоскость можно определить количественные оценки показателей робастного качества, соответствующие наихудшим режимам работы системы.

Однако известно, что границы областей локализации определяются не всеми ребрами, а только внешними, задающими граничный реберный маршрут [15, 16, 17, 18, 19, 20]. Поэтому представляет интерес решение задачи нахождения этого маршрута.

Знание граничного реберного маршрута позволит разработчику САУ с интервальными параметрами облегчить анализ качества системы и достаточно легко определять степень робастной устойчивости и степень робастной колебательности САУ.

Таблица 1. Нестабильности объектов САУ

Изменяющиеся параметры	Причины изменения	Кратность изменения	скорость изменения	Эквивалентные параметры системы	примеры систем и их элементов
момент инерции на валу двигателя	Технологическая	5-10	Медленная	Электромеханическая постоянная времени	бумагоделательные машины, обрабатывающие станки, роботы
	Перемещение и переключение механизмов	5-10	Быстрая		
Параметры упругой связи	Технологическая	3-5	Медленная	Собственные частоты колебаний	Подъемники с длинными канатами, прокатные станы, антенные системы, обрабатывающие станки, роботы
	Взаимосвязи с упругими системами	2-3	Быстрая		
Сопротивление якорной цепи	Нелинейность магнитной цепи якоря ротора	2-5	Быстрая	Электромагнитная постоянная времени	Двигатели постоянного тока
Усиление сигналов управления	Изменение температуры	2-3	Быстрая	Коэффициент усиления	усилители

Глава 1. Анализ робастного качества САУ с интервальной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома

1.1 Постановка задачи

В настоящее время для анализа робастного качества САУ с интервальной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома применяют алгебраический, частотный и корневой методы. Робастное расширение последнего открывает новые возможности для анализа качества интервальных систем с интервальными параметрами [21].

Пусть интервальный характеристический полином имеет вид

$$D(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0, \quad (1.1)$$

где $m = n+1$ коэффициентов изменяются в заданных диапазонах. Эти коэффициенты образуют многогранник P_m с вершинами V_q , $q = \overline{1, 2^m}$. Каждой точке P_m соответствует полином с фиксированными коэффициентами. Ставится задача найти минимальную степень устойчивости и максимальную колебательность для P_m .

Согласно [22], для этого необходимо найти корни полинома во всех 2^m вершинах P_m . Однако такая процедура слишком трудоемка. Для ее облегчения следует учесть, что образы только определенных граничных вершин принадлежат границам корневых областей. Поэтому необходимо определить эти проверочные вершины и находить именно в них корни полинома.

1.2 Определение проверочных вершин многогранника интервальных коэффициентов полинома

Координаты любой точки многогранника P_m относительно вершины V_q , $q = \overline{1, 2^m}$, определяются следующим образом

$$a_i = a_i^q + \Delta a_i, \quad i = \overline{0, n} \quad (1.2)$$

$$(a_{i\min} - a_i^q) \leq \Delta a_i \leq (a_{i\max} - a_i^q) \quad (1.3)$$

где Δa_i – приращение i -го коэффициента, a_i^q – его значение в вершине

V_q . Максимальное значение a_i обозначим $\overline{a_i}$, а минимальное $\underline{a_i}$. С учетом (1.2) и (1.3) перепишем уравнение (1.1) в виде

$$D^q(s) + \sum_i \Delta a_i s^i = 0, \quad i = \overline{0, n}, \quad (1.4)$$

где $D^q(s) = \sum_i a_i^q s^i$ – вершинный полином.

Обозначаем ребра P_m через R_i^q . На основе (1.4) запишем уравнение отображения R_i^q на корневую плоскость

$$D^q(s) + \Delta a_i s^i = 0. \quad (1.5)$$

На основе теории корневого годографа (1.5) определяется реберной передаточной функцией

$$W_i^q(\Delta a_i, s) = \frac{\Delta a_i s^i}{D^q(s)}. \quad (1.6)$$

Образы ребер являются реберными ветвями (RS_i^q), их начала и концы – корневыми узлами (U_q).

На основе уравнения фаз [8] при возрастании a_i угол выхода RS_i^q из комплексного узла U_q

$$\Theta_i^q = \pi - \sum_{g=1}^n \Theta_g + i\Theta_0, \quad (1.7)$$

а при уменьшении a_i

$$\Theta_i^q = -\sum_{g=1}^n \Theta_g + i\Theta_0, \quad (1.8)$$

где Θ_g и Θ_0 – углы, определяемые векторами из U_q соответственно к g -ому полюсу и к i нулям с координатами $(0; j0)$.

Очевидно, что U_q находится на границе корневой области, если разница между максимальным и минимальным Θ_i^q меньше 180° .

Исходя из (1.7) и (1.8) у всех Θ_i^q имеется общее слагаемое $\sum_{g=1}^n \Theta_g$.

Поэтому заменим углы θ_i^q углами ϕ_i^q

при увеличении a_i

$$\Phi_i^q = \pi + i\Theta_0, \quad (1.9)$$

при уменьшении a_i

$$\Phi_i^q = i\Theta_0. \quad (1.10)$$

Взаимное расположение Φ_i^q определяет характер узла U_q . Он является граничным, если все Φ_i^q находятся в угле, меньшем 180° .

Проверить данное условие можно графически, строя на круговой диаграмме векторы под углами Φ_i^q на основании (1.9) и (1.10).

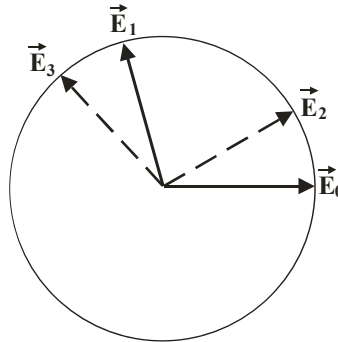


Рис. 1.1 Коэффициентные векторы граничной вершины

Пределы коэффициентов полинома будут определять координаты граничной вершины P_m .

Таким образом, если на диаграмме в соответствии с (1.9) и (1.10) для всех m коэффициентов построить по два противоположных вектора, то любые m последовательно расположенных векторов задают координаты одной граничной вершины P_m (рис. 2). При этом из диаграммы можно получить набор из $2m$ возможных граничных вершин P_m .

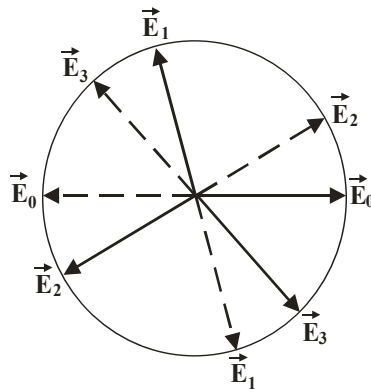


Рис. 1.2 Диаграмма расположения всех коэффициентных векторов

1.3 Алгоритм определения корневых показателей качества САУ

Для характеристического полинома с интервальными коэффициентами разработана следующая процедура определения корневых показателей качества САУ в проверочных вершинах.

1. Задать значение угла Θ_0 и для всех интервальных коэффициентов построить лучи, выходящие из начала координат под углами, которые находятся по выражениям (1.9) и (1.10).

2. Начиная с любого луча, выбрать в положительном направлении m последовательных лучей и определить пределы всех коэффициентов полинома (координаты соответствующей проверочной вершины).

3. Изменяя начальный луч, повторить п.2 и получить координаты $2m$ проверочных вершин.

4. Найти корни всех проверочных вершинных полиномов и определить искомые корневые показатели робастного качества системы.

1.4 Числовой пример

Пусть САУ задана характеристическим полиномом $D(s) = a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0$, где $a_3 = [1; 1, 2]$, $a_2 = [12; 12, 2]$, $a_1 = [22; 23, 2]$, $a_0 = [20; 25, 5]$. Надо найти минимальную степень устойчивости и максимальную колебательность САУ. Согласно разработанной методике для заданного полинома выбрана вершина многогранника и для нее найден угол $\Theta_0 = 150^\circ$. Для этого угла по выражениям (1.9) и (1.10) построена круговая диаграмма векторов и по ней найден

следующий набор из 8 граничных вершин:

$$\begin{array}{c} \overline{a_3}, \overline{a_2}, \overline{a_1}, \overline{a_0}; \\ \overline{a_3}, \underline{a_2}, \underline{a_1}, \overline{a_0}; \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \overline{a_3}, \overline{a_2}, \overline{a_1}, \underline{a_0}; \\ \overline{a_3}, \underline{a_2}, \overline{a_1}, \underline{a_0}; \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \overline{a_3}, \underline{a_2}, \overline{a_1}, \overline{a_0}; \\ \overline{a_3}, \overline{a_2}, \underline{a_1}, \overline{a_0}; \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \underline{a_3}, \overline{a_2}, \overline{a_1}, \overline{a_0}; \\ \overline{a_3}, \underline{a_2}, \overline{a_1}, \underline{a_0}. \end{array}$$

Для этого набора коэффициентов найдены корни соответствующих вершинных полиномов. В результате их анализа установлено, что САУ обладает минимальной степенью устойчивости $\alpha_{\min} = 0,95$ в вершине $\underline{a_3}, \overline{a_2}, \underline{a_1}, \overline{a_0}$ и максимальной колебательностью $\mu_{\max} = 1,37$ в вершине $\overline{a_3}, \overline{a_2}, \underline{a_1}, \overline{a_0}$.

1.5 Вывод

Разработан алгоритм нахождения проверочных вершинных полиномов у характеристического полинома с интервально заданными коэффициентами. По корням вершинных полиномов определяются корневые оценки робастного качества системы (минимальная степень устойчивости и максимальная колебательность). Алгоритм основан на графическом способе определения проверочных вершин многогранника коэффициентов. Образы проверочных вершин принадлежат границам корневых областей интервального характеристического полинома. Разработанный алгоритм основан на робастном расширении метода корневого годографа.

Глава 2. Анализ робастного качества вершин САУ с аффинной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома

2.1 Постановка задачи

Более точный анализ робастного качества интервальной системы возможен, если в системе интервальными рассматривать не коэффициенты полинома, а реальные (физические) параметры.

Если эти параметры линейно (аффинно) входят в коэффициенты полинома, то для анализа качества системы рекомендуется использовать реберную теорему, согласно которой границы областей локализации корней определяются образами ребер многогранника интервальных параметров системы. Их число может быть очень большим, при этом не все из них отображаются на границы корневых областей, а лежат внутри этих областей.

Для упрощения анализа робастных показателей качества следует решить задачу нахождения проверочных ребер, которые служат образами границ корневых областей.

2.2 Свойства отображения многогранника интервальных параметров системы

Пусть задан характеристический полином системы

$$\sum_{i=1}^m T_i \cdot A_i(s) + B(s) = 0, \quad (2.1)$$

Где $\underline{T}_i \leq T_i \leq \overline{T}_i$, $\underline{T}_i = T_{i\min}$, $\overline{T}_i = T_{i\max}$. Так как m параметров заданы своими границами, то эти параметры образуют многогранник P_T

$$P_T = \{T_i | \underline{T}_i \leq T_i \leq \overline{T}_i, i = \overline{1, m}\}$$

Координаты любой точки P_T находятся по выражениям

$$T_i = T_i^{V_q} + \Delta T_i, i = \overline{1, m}, \quad (2.2)$$

$$(T_i - T_i^{V_q}) \leq \Delta T_i \leq (\overline{T}_i - T_i^{V_q}), \quad (2.3)$$

где $T_i^{V_q}$ – значения параметра в вершине V_q . Если подставить (2.2) в (2.1), то можно записать уравнение отображения P_T на корневую плоскость

$$Q^{V_q}(s) + B(s) + \Delta T_1 \cdot A_1(s) + \Delta T_2 \cdot A_2(s) + \dots + \Delta T_m \cdot A_m(s) = 0, \quad (2.4)$$

где $Q^{V_q}(s) = \sum_{i=1}^m T_i^{V_q} \cdot A_i(s)$. На основании (2.4) уравнение отображения ребра имеет вид

$$Q^{V_q}(s) + B(s) + \Delta T_i \times A_i(s) = 0 \quad (2.5)$$

Если считать уравнение (2.5) характеристическим полиномом, то можно записать передаточную функцию системы в разомкнутом состоянии

$$W_i^{V_j}(\Delta T_i, s) = \frac{\Delta T_i \cdot A_i(s)}{Q^{V_j}(s) + B(s)} \quad (2.6)$$

Пусть на функцию (2.6) распространяется свойство углов выхода ветвей корневого годографа из полюсов. Эти углы можно найти из уравнения фаз [6]. Пусть полином степени n , а полином $A_i(s)$ степени r . Тогда запишем углы выхода реберной ветви из узла V_j :

при увеличении T_i

$$\Theta_{Ti}^{V_j} = 180^\circ - \sum_1^n \Theta_k + \sum_1^r \Theta_l \quad (2.7)$$

при уменьшении T_i

$$\Theta_{Ti}^{V_j} = -\sum_1^n \Theta_k + \sum_1^r \Theta_l \quad (2.8)$$

где Θ_k и Θ_l - углы, определяемые векторами из узла V_j соответственно к k -ому полюсу и к l -ому нулю функции (2.6).

Если V_q - граничный, то из него выходят две граничные реберные ветви под углами, образующими граничный угол в диапазоне $[0^\circ, 180^\circ]$. То есть

$$\Theta_j^V - \Theta_{j-1}^V > 180^\circ, j = \overline{2, m}, \quad (2.9)$$

$$\Theta_m^V - \Theta_1^V < 180^\circ, \text{ где } \Theta_m^V > \Theta_{m-1}^V > \dots > \Theta_1^V. \quad (2.10)$$

Пусть корневые узлы, лежащие на границе области локализации корня, называются граничными (GV_q), а их образы – граничными вершинами P_T .

Определим среди ребер многогранника параметров P_T прообразы $GR_{Ti}^{V_j}$. Пусть при изменении какого-либо интервального параметра корень s движется по граничной реберной ветви. При этом могут изменяться углы выхода из s

ветвей по остальным интервальным параметрам. Однако при переходе s от одного граничного узла к другому сохраняется последовательность величин углов выхода.

Следовательно, можно сделать вывод, что если задан GV_j и выходящая из него $GR_{Ti}^{V_j}$, то очередной граничной реберной ветвью будет та, модуль разности между углом выхода которой и углом выхода известной $GR_{Ti}^{V_j}$ будет наименьшим. Таким образом, зная углы $\Theta_{Ti}^{V_j}, i = \overline{1, m}$ для любого граничного узла и расположив их в порядке возрастания, можно найти последовательность ветвей $R_{Ti}^{V_j}, j = \overline{1, 2m}, i = \overline{1, m}$, образующих границу корневой области.

Данная последовательность определяет ребер P_T - граничный реберный маршрут, содержащий $2m$ ребер.

2.4 Методика определения корневых показателей качества САУ

На основании выполненных исследований можно сделать следующий вывод.

Для определения корневых показателей робастного качества необходимо отобразить на корневую плоскость замкнутый реберный маршрут из $2m$ ребер, последовательность которых определяется возрастающей последовательностью величин углов выхода реберных ветвей из любого граничного корневого узла $(\Theta_{Ti}^{V_j} + \pi n), n = 0, 2, i = \overline{1, m}$.

Рассмотрим процедуру проверки данного требования. Она содержит следующие этапы.

1. Получение характеристического полинома системы (2.1).
2. Нахождение координат вершин P_T многогранника интервальных параметров.
3. Определение любого граничного комплексного корневого узла.
4. Нахождение углов выхода реберных ветвей по всем интервальным параметрам из найденного в п. 4 узла.

5. Реберная маршрутизация многогранника интервальных параметров по углам выхода реберных ветвей.

6. Отображение реберного маршрута на плоскость корней и определение на его основе корневых показателей робастного качества системы.

2.5 Числовой пример

Задан полином $s^3 + ([T_2] + 3) \cdot s^2 + (2[T_1] + 1) \cdot s + [T_0]$, где $[T_2] = [3; 5]$, $[T_1] = [6.5; 8.5]$, $[T_0] = [9.5; 10.5]$.

Найдем граничный реберный маршрут для многогранника трех интервальных параметров, который содержит 12 ребер. Образом одной из его вершин V_1 с координатами $T_2 = 3$, $T_1 = 6.5$, $T_0 = 9.5$ является узел $U_1 = (-2.45 + j1.61)$. Определим углы выхода из узла U_1 реберных ветвей по интервальным параметрам: $\Theta_{T_2}^{U_1} = 254^\circ$, $\Theta_{T_1}^{U_1} = 107^\circ$, $\Theta_{T_0}^{U_1} = 321^\circ$. Так как для них не выполняется условие граничности, то выбираем другую вершину V_2 с координатами $T_2 = 3$, $T_1 = 6.5$, $T_0 = 10.5$. Ей соответствуют узел $U_2 = (-2.31 + j1.52)$ и углы выхода $\Theta_{T_2}^{U_2} = 257^\circ$, $\Theta_{T_1}^{U_2} = 112^\circ$, $\Theta_{T_0}^{U_2} = 141^\circ$. Для V_2 условие граничности выполняется, поэтому можно заключить, что U_2 является граничным корневым узлом.

Граничный реберный маршрут многогранника интервальных параметров формируется из вершины V_2 изменением параметров в соответствии с соотношением углов $\Theta_{T_1}^U < \Theta_{T_0}^U < \Theta_{T_2}^U$. На рис. 1 приведена схема полученного маршрута из 6 ребер. Стрелка вверх на рисунке означает увеличение интервального параметра, а стрелка вниз – его уменьшение.

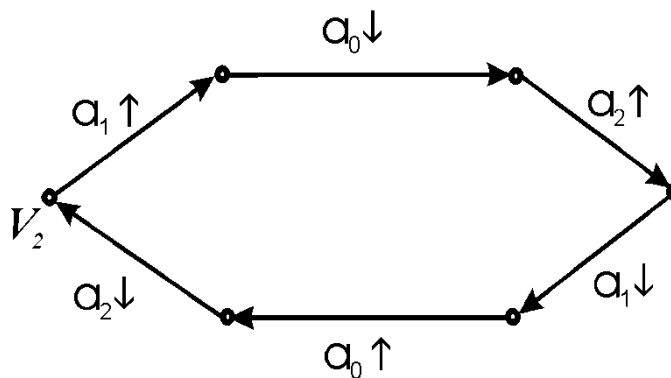


Рисунок 2.1 схема полученного маршрута из 6 ребер

Глава 3. Математическая модель системы силовой разгрузки с интервальными параметрами

3.1 Постановка задачи

В настоящее время актуальна задача оснащения подъемно-транспортных механизмов системами автоматического регулирования для повышения их производительности. В частности, для выполнения погрузочных операций особый интерес представляют системы силовой разгрузки (ССР), позволяющие оператору действием руки перемещать грузы с большим весом.

К системе силовой разгрузки предъявляются следующие требования:

- обеспечение высокого быстродействия;
- обеспечение качественного переходного процесса.

ССР должны обеспечивать плавное и точное перемещение груза в пределах рабочей зоны при непосредственном воздействии оператора на груз рукой небольшим направленным усилием, которое задает траекторию и скорость перемещения груза.

ССР представляет собой двухмассовую систему с упругой связью в виде троса, связывающего груз и электропривод.

Система является двухмассовой; в качестве масс следует рассматривать массу перемещаемого груза и эквивалентную массу электропривода с намотанным на барабан тросом.

ССР характеризуется интервальной неопределенностью ее некоторых параметров. К таким параметрам относятся масса груза и длина троса между грузом и барабаном электропривода.

Для компенсации веса груза в ССР используется датчик натяжения троса. В начальном состоянии системы при отсутствии усилия оператора на груз выходной сигнал датчика устанавливается на ноль. При подъеме или опускании оператором груза изменяется натяжение в тросе и сигнал датчика подается на систему управления электроприводом. В зависимости от знака сигнала датчика натяжения происходит наматывание троса на барабан или его сматывание с барабана. В результате работы ССР натяжение в тросе практически не

изменяется.

Анализ динамических свойств ССР является важной задачей, так как наличие в системе упругой связи в виде троса может явиться причиной появления колебаний в системе. Необходимо, чтобы система обладала требуемым быстродействием и могла без колебаний перемещать груз при любых массах и длинах троса из известных диапазонов.

3.2 Функциональная схема системы силовой разгрузки

Для разработки математической модели ССР представим ее в виде кинематической схемы, изображенной на рисунке 3.1.

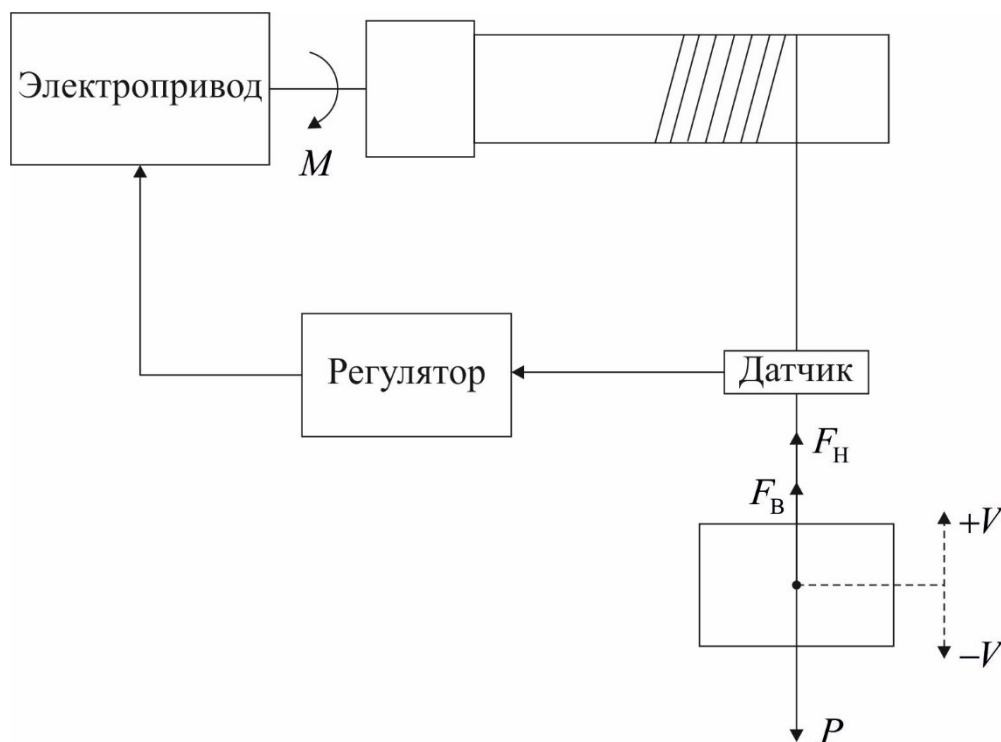


Рисунок 3.1 – Кинематическая схема ССР

Для вывода дифференциальных уравнений, описывающих динамику ССР, приняты допущения:

- трение в системе отсутствует;
- масса датчика натяжения равна нулю;
- жесткость упругого элемента датчика натяжения равна бесконечности.

В результате математического описания объекта управления ССР

получена система уравнений:

$$m \frac{d\Delta V_r}{dt} = \Delta F_H - \Delta F_B;$$

$$\Delta F_H = \left(\frac{C + \chi p}{p} \right) (\Delta V_{пр} - \Delta V_r);$$

$$\Delta F_{дв} = \left(\frac{C_M}{r} \left(\frac{1/R_{я}}{T_{я} p + 1} \right) \right) \left(U_{дв} - \frac{C_E \Delta V_{пр}}{r} \right);$$

$$\left(T_y \frac{dU_{вых}}{dt} + U_{вых} \right) = k_y U_{вх};$$

$$\Delta U_{дн} = k_{дн} \Delta F_H,$$

где $k_{дв}$ – коэффициент усиления двигателя;

$T_{дв} = 0$ – электромагнитная постоянная времени двигателя;

$C_E = 0,05$ В·с/рад – противо ЭДС двигателя;

$J = 0,5$ кг·м² – приведенный момент инерции движущихся масс двигателя;

k_y – коэффициент передачи усилительного устройства;

$T_y = 0$ с – постоянная времени усилительного устройства;

$C_{уд} = 1000000$ Н/м – коэффициент удельной жесткости троса;

$\chi_{уд} = 100000$ Н·с/м – удельный коэффициент потери упругости троса

(коэффициент демпфирования);

$m = [50; 100]$ кг – масса груза;

$l = [50; 100]$ м – длина троса;

$k_1 = [5; 10]$ – соответственно коэффициент усиления электрической

части привода ($k_y \cdot k_{ос} \cdot k_{он}$)

$r = 0,1$ м – радиус блока.

3.3 Структурная схема системы силовой разгрузки

На основе полученных дифференциальных уравнений составлена структурная схема объекта управления ССР (рисунок 3.2).

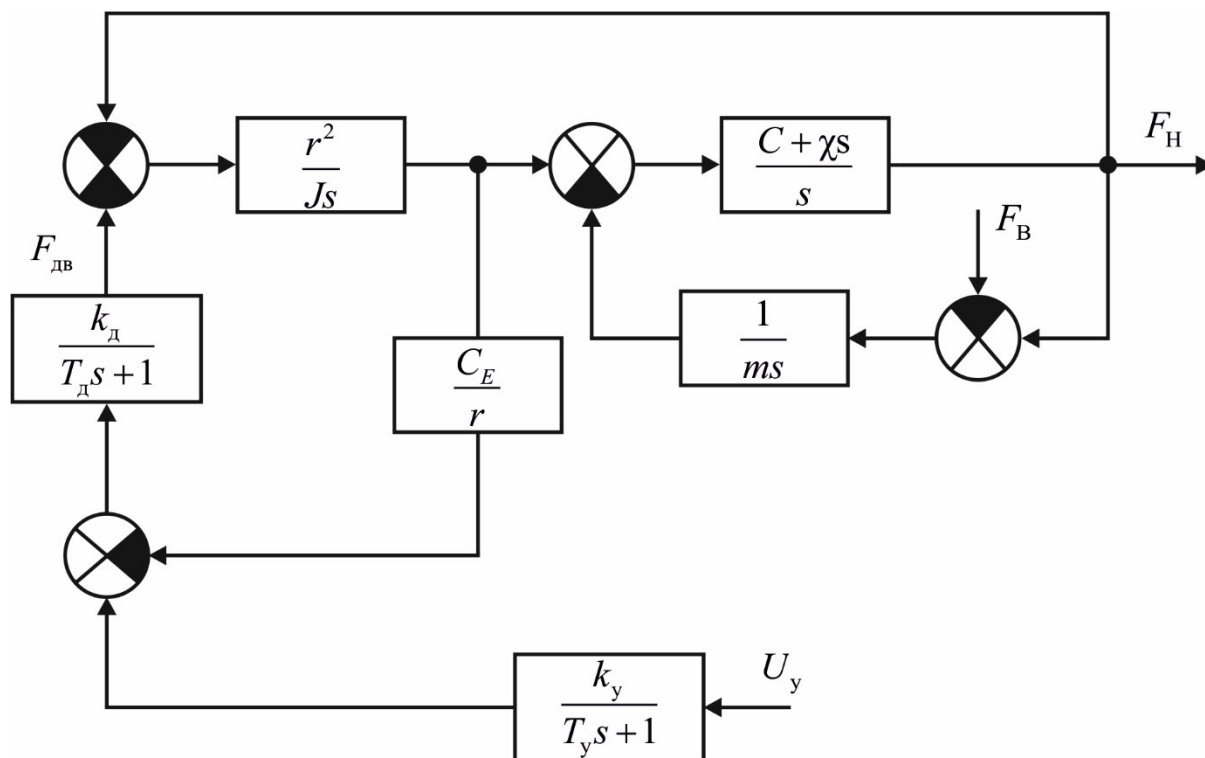


Рисунок 3.2 – Структурная схема объекта управления ССР

Коэффициент жесткости троса C зависит от его длины и находится по формуле

$$C = \frac{C_{уд}}{l},$$

Коэффициент потерь упругости троса также зависит от длины троса

$$\chi = \frac{\chi_{уд}}{l},$$

При дальнейшем анализе ССР пренебрежем коэффициентом C_E противоЭДС двигателя, так как электропривод имеет высокое быстродействие.

В результате структурная схема ССР, включающая регулятор и объект регулирования, будет иметь вид, показанный на рисунке 3.3

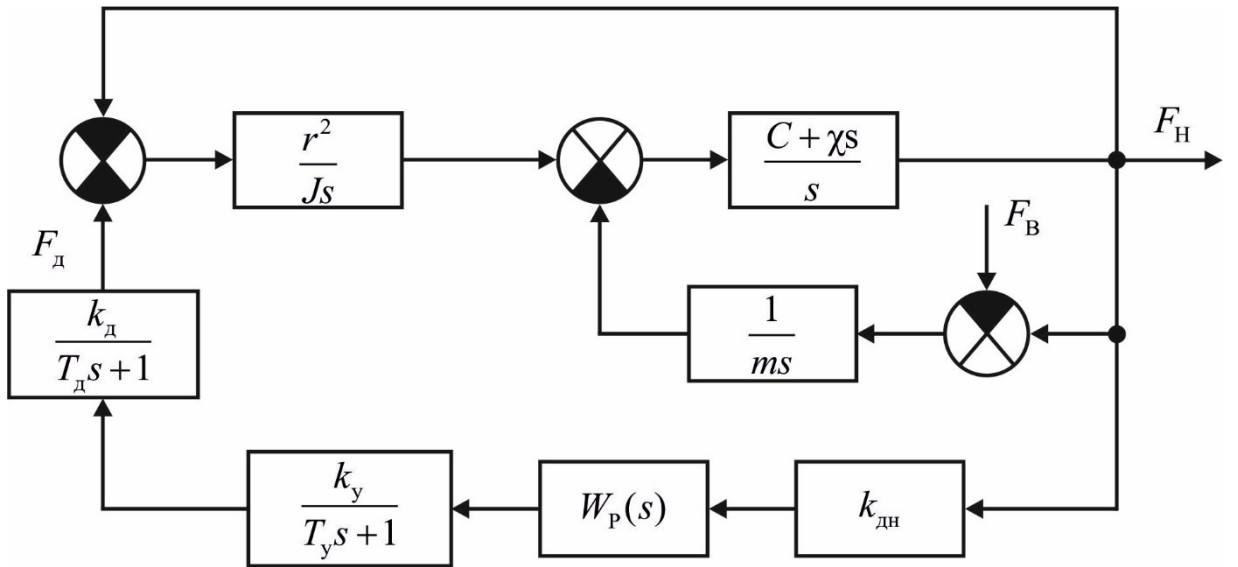


Рисунок 3.3 – Структурная схема ССР

На рисунке 3.3 обозначены: $k_{дн}$ – коэффициент передачи датчика натяжения; $W_p(s)$ – передаточная функция ПИ-регулятора $W_p(s) = \frac{k_2(Ts + 1)}{s}$ с двумя настраиваемыми параметрами.

3.4 Передаточные функции системы силовой разгрузки

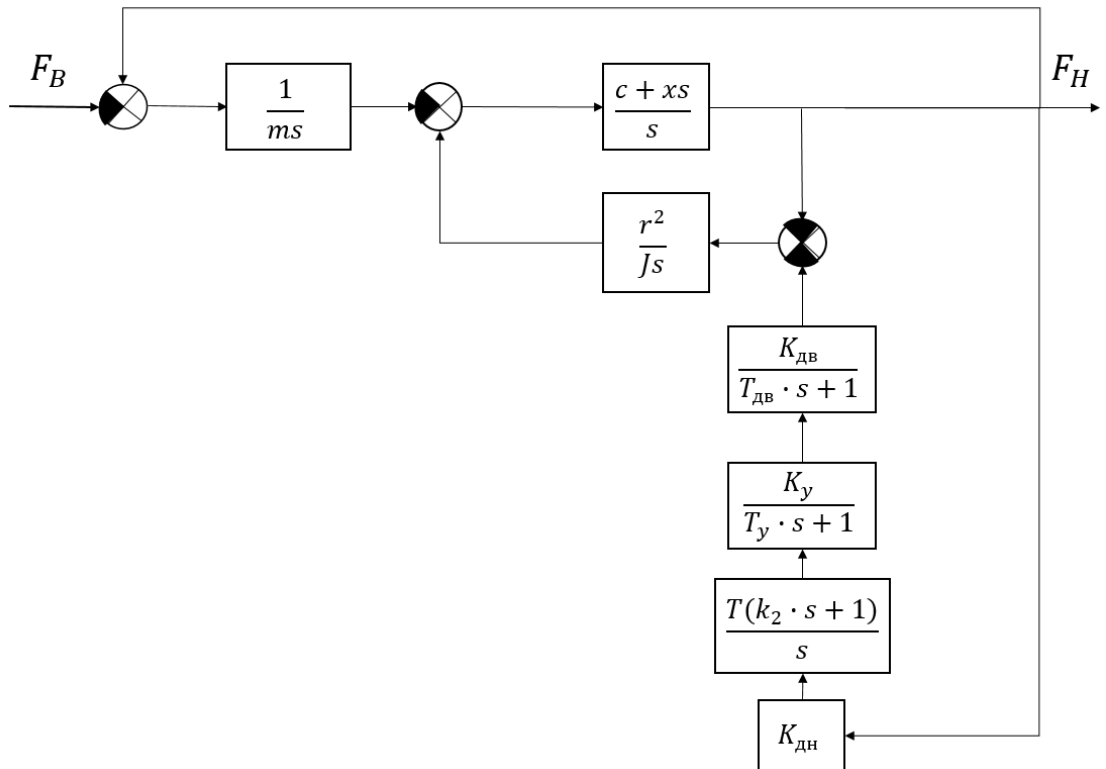


Рис 3.4 Преобразованная структурная схема ССР

Сначала преобразуется $W^* = \frac{k_{\text{дв}}}{(T_{\text{дв}} \cdot s + 1)} \cdot \frac{k_y}{(T_y \cdot s + 1)} \cdot \frac{k_2(T \cdot s + 1)}{s} \cdot k_{\text{дн}}$

Тогда получим следующую схему на рисунке 3.5:

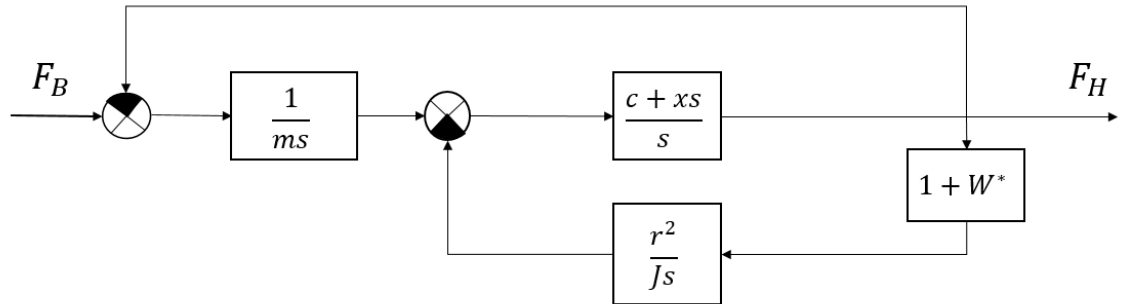


Рисунок 3.5 Преобразованная структурная схема ССР

Проведем дальнейшие преобразования структуры на рисунке 3.5.

$$W_{np}(s) = \frac{\frac{c + \chi s}{s} \cdot \frac{1}{ms}}{1 + \frac{(c + \chi s)}{s} \cdot \frac{r^2}{Js} \cdot (1 + W^*)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{c + \chi s}{s} \cdot \frac{1}{ms}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(c + \chi s)}{s} \cdot \frac{r^2}{Js} \cdot (1 + W^*)}$$

В результате получим передаточную функцию замкнутой ССР, входным сигналом которой является усилие оператора, а выходным – изменение силы натяжения в тросе.

$$W(s) = \frac{J\chi \cdot s^2 + CJ \cdot s}{J[l][m] \cdot s^3 + (J\chi + \chi[m]r^2(1 + Tk_1k_2)) \cdot s^2 + (CJ + C[m]r^2 + k_1k_2[m]r^2(\chi + TC)) \cdot s + [m]Ck_1k_2r^2}$$

Исходной информацией для решения поставленной задачи является характеристический полином ССР – знаменатель $W_{\text{зам}}(s)$. С учетом интервальной неопределенности параметров ССР он имеет вид

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0, \quad (3.1)$$

где

$$[a_0] = [m]Ck_1k_2r^2;$$

$$[a_1] = CJ + C[m]r^2 + k_1k_2[m]r^2(\chi + TC);$$

$$[a_2] = J\chi + \chi[m]r^2(1 + Tk_1k_2);$$

$$[a_3] = J[l][m];$$

где k_1 – коэффициент усиления электрической части привода

Подставляя в коэффициенты полинома (3.1) значения параметров объекта управления и принимая во внимание, что масса груза может изменяться в диапазоне $50 \text{ кг} \leq m \leq 500 \text{ кг}$, а длина троса в диапазоне $5 \text{ м} \leq l \leq 10 \text{ м}$, определим выражения для коэффициентов характеристического полинома (3.1)

$$[a_0] \in 200 \cdot [m] \cdot [k_1];$$

$$[a_1] \in 102 \cdot [k_1] \cdot [m] + 10000 + 200 \cdot [m];$$

$$[a_2] \in [k_1] \cdot [m] + 5000 + 100 \cdot [m];$$

$$[a_3] \in 0.5 \cdot m \cdot [l];$$

В результате характеристический полином ССР (3.1) можно представить в виде

$$0.5 \cdot m \cdot [l] \cdot s^3 + ([k_1] \cdot [m] + 5000 + 100 \cdot [m]) \cdot s^2 + 102 \cdot [k_1] \cdot [m] + 10000 + 200 \cdot [m] \cdot s + 200 \cdot [m] \cdot [k_1] \quad (3.2)$$

Глава 4. Анализ робастного качества системы силовой разгрузки

4.1 Анализ робастного качества системы с интервальной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома

На основании реберной теоремы отобразим параметрический многогранник ССР на корневую плоскость. Для этого приведем характеристический полином ССР к виду:

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0 \quad (4.1)$$

где $[a_0] = 200 \cdot [m] \cdot [k_1]$; $[a_1] = 102 \cdot [k_1] \cdot [m] + 10000 + 200 \cdot [m]$;
 $[a_2] = [k_1] \cdot [m] + 5000 + 100 \cdot [m]$; $[a_3] \in 0.5 \cdot m \cdot [l]$. Многогранник образован тремя интервальными параметрами и содержит 8 вершин: $V_1(50,50,5)$, $V_2(500,50,5)$, $V_3(500,50,10)$, $V_4(50,50,10)$, $V_5(50,100,5)$, $V_6(500,100,5)$, $V_7(500,100,10)$, $V_8(50,100,10)$, где первая координата - m , вторая - l , третья - k_1 .

Опишем алгоритм построения трехпараметрического интервального корневого годографа с помощью ППП МаhtCAD.

Сначала необходимо задать значения постоянных параметров:

$$\underline{I} := 0.01 \quad C_0 := 2 \cdot 10^4 \quad X_0 := 1 \cdot 10^4 \quad \underline{R} := 0.1 \quad \underline{J} := 0.5$$

Для приведения характеристического полинома ССР к интервальному типу неопределенности нужно привести все значения постоянных и интервальных параметров, найти максимальные и минимальные значения $[a_n]$. При этом получаем характеристический полином в интервальном виде.

Алгоритм для построения трехпараметрического интервального корневого годографа на ППП МаhtCAD при интервальной неопределенности имеет вид.

1. Определяем максимальные и минимальные значения интервальных коэффициентов $[a_n]$:

$m1 := 50$	$l1 := 50$	$k1 := 5$				
$A31 := m1 \cdot l1 \cdot J$	$A21 := J \cdot X0 + m1 \cdot X0 \cdot R^2 (1 + T \cdot k1)$	$A11 := J \cdot C0 + m1 \cdot C0 \cdot R^2 + m1 \cdot k1 \cdot R^2 (X0 + T \cdot C0)$		$A01 := m1 \cdot C0 \cdot k1 \cdot R^2$		
$A31 \rightarrow 1250.0$	$A21 \rightarrow 10250.0$	$A11 \rightarrow 45500.0$		$A01 \rightarrow 50000.0$		
$m2 := 500$	$l2 := 100$	$k2 := 10$				
$A32 := m2 \cdot l2 \cdot J$	$A22 := J \cdot X0 + m2 \cdot X0 \cdot R^2 (1 + T \cdot k2)$	$A12 := J \cdot C0 + m2 \cdot C0 \cdot R^2 + m2 \cdot k2 \cdot R^2 (X0 + T \cdot C0)$		$A02 := m2 \cdot C0 \cdot k2 \cdot R^2$		
$A32 \rightarrow 25000.0$	$A22 \rightarrow 60000.0$	$A12 \rightarrow 620000.0$		$A02 \rightarrow 1.0e6$		

2. Задаем функции изменения интервального коэффициента $[a_3]$:

$$M0 := A01, A02.. A02 \quad M1 := A11, A12.. A12 \quad M2 := A21, A22.. A22 \quad M3 := A31, (A31 + 100).. A32$$

$$B0(M0) := M0 \quad B1(M1) := M1$$

$$B2(M2) := M2 \quad B3(M3) := M3 \quad +$$

$$V1(M0, M1, M2, M3) := \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} B0(M0) \\ B1(M1) \\ B2(M2) \\ B3(M3) \end{pmatrix} \right)$$

3. Задаем функции изменения интервального коэффициента $[a_2]$:

$$M00 := A01, A02.. A02 \quad M01 := A11, A12.. A12 \quad M02 := A21, (A21 + 250).. A22 \quad M03 := A31, A32.. A32$$

$$B0(M00) := M00 \quad B1(M01) := M01$$

$$B2(M02) := M02 \quad B3(M03) := M03$$

$$V2(M00, M01, M02, M03) := \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} B0(M00) \\ B1(M01) \\ B2(M02) \\ B3(M03) \end{pmatrix} \right) \quad +$$

4. Задаем функции изменения интервального коэффициента $[a_1]$:

$$M10 := A01, A02.. A02 \quad M11 := A11, (A11 + 5000).. A12 \quad M12 := A21, A22.. A22 \quad M13 := A31, A32.. A32$$

$$B0(M10) := M10 \quad B1(M11) := M11$$

$$B2(M12) := M12 \quad B3(M13) := M13$$

$$V3(M10, M11, M12, M13) := \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} B0(M10) \\ B1(M11) \\ B2(M12) \\ B3(M13) \end{pmatrix} \right)$$

5. Задаем функции изменения интервального коэффициента $[a_0]$:

$$\begin{aligned}
M20 &:= A01, (A01 + 5000).. A02 & M21 &:= A11, A12.. A12 & M22 &:= A21, A22.. A22 & M23 &:= A31, A32.. A32 \\
B0(M20) &:= M20 & B1(M21) &:= M21 & & & & \\
B2(M22) &:= M22 & B3(M23) &:= M23 & & & & \\
V4(M20, M21, M22, M23) &:= \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} B0(M20) \\ B1(M21) \\ B2(M22) \\ B3(M23) \end{pmatrix} \right) & & & & & & +
\end{aligned}$$

В результате получается трехпараметрический интервальный корневой годограф, представленный на рисунке 4.1.

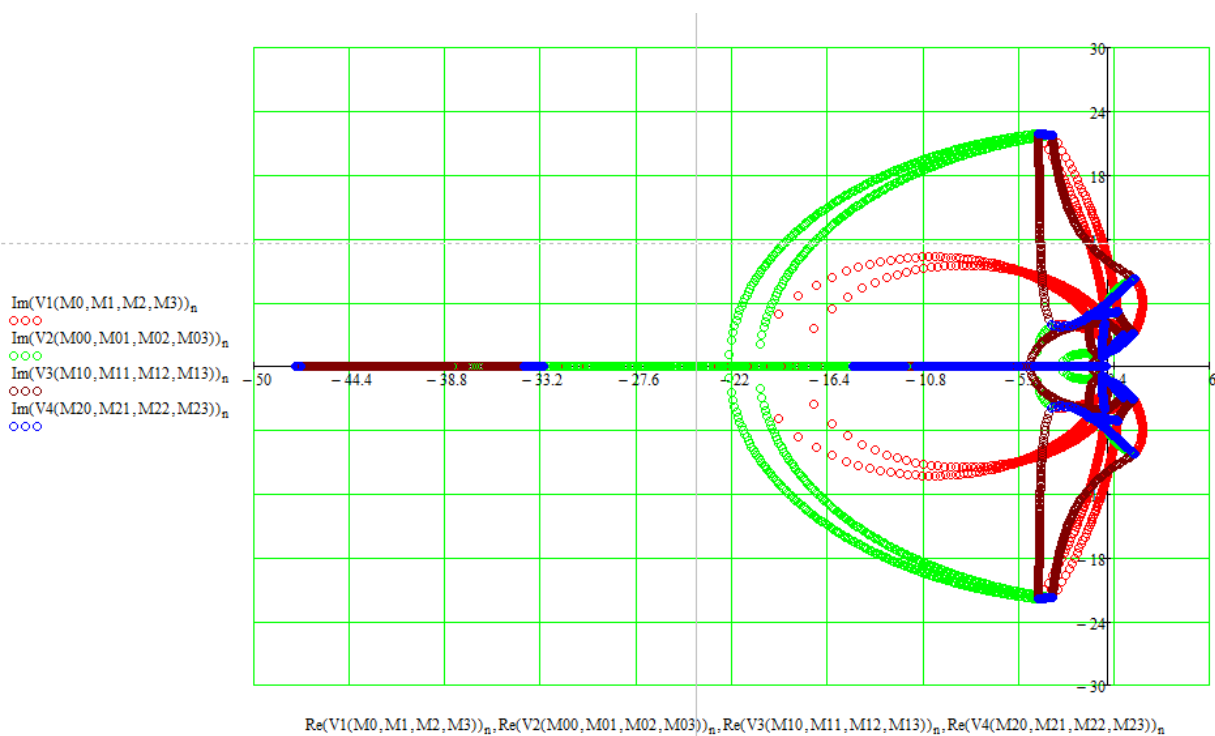


Рисунок 4.1 ИКГ при интервальной неопределенности

Из рисунка 4.1 видно, что часть годографа лежит справа от мнимой оси комплексной плоскости. Таким образом, при заданных интервальных параметрах в системе существуют такие режимы, в которых система неустойчива.

4.2 Анализ робастного качества системы с аффинной неопределенностью параметров

Характеристический полином ССР имеет вид

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0,$$

где $a_3 = mlJ$, $a_2 = J\chi + m\chi r^2(1 + Tk_1k_2)$, $a_1 = Jc + mcr^2 + mk_1k_2r^2(\chi + Tc)$, $a_0 = mck_1k_2r^2$, m - масса груза, l - длина упругого элемента, J - момент инерции электропривода, χ - 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.

Заданы постоянные параметры системы силовой разгрузки: $J = 0,5 \text{ кгм}^2$, $\chi = 1 \cdot 10^4$, $C = 2 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $r = 0,1 \text{ м}$. Интервальные параметры ССР заданы пределами: $m \in [50, 500] \text{ кг}$, $l \in [50, 100] \text{ м}$, $k_1 \in [5, 10]$. Параметры регулятора $k_2 = 1$, $T = 0,01 \text{ с}$ установлены для средних значений интервальных параметров. Необходимо на основе разработанного алгоритма анализа робастной устойчивости построить многопараметрический интервальный корневой годограф для данной системы силовой разгрузки и по нему найти значения корневых показателей робастного качества ССР.

Приведем характеристический полином системы к виду (4.2)

$$l \cdot A_1(s) + \frac{1}{m} \cdot A_2(s) + k_1 \cdot A_3(s) + A_4(s) = 0, \quad (4.2)$$

где $A_1(s) = Js^3$, $A_2(s) = J(c + \chi s)s$, $A_3(s) = ck_2r^2 + (ck_2Tr^2 + \chi k_2r^2)s + \chi Tk_2r^2s^2$,

$$A_4(s) = (c + \chi s)r^2s.$$

Параметрический многогранник образован тремя интервальными параметрами и содержит 8 вершин: $V_1(50, 50, 5)$, $V_2(500, 50, 5)$, $V_3(500, 50, 50)$, $V_4(50, 50, 50)$, $V_5(50, 100, 5)$, $V_6(500, 100, 5)$, $V_7(500, 100, 50)$, $V_8(50, 100, 50)$, где 1-ая

координата $-m$, 2-ая $-l$, 3-ья $-k_1$.

В первой вершине многогранника определены полюсы $(-3.34+j3.88, -3.34-j3.88, -1.53)$, а также три набора нулей (три нулевых корня $A_1(s)$; корни $A_2(s)$: 0 и -2 ; корни $A_3(s)$: -2 и -100). Для корневого узла $3.34+j3.88$ найдены $\Theta_m^{V_1} = 34^\circ$, $\Theta_l^{V_1} = 5^\circ$, $\Theta_{k_1}^{V_1} = 86^\circ$. При таких углах выхода условие граничности выполняется, поэтому V_1 принадлежит реберному маршруту. Так как $\Theta_l^{V_1} < \Theta_m^{V_1} < \Theta_{k_1}^{V_1}$, то на основании разработанной процедуры запишем последовательность изменения интервальных параметров ССР из вершины V_1 : $l \rightarrow m \rightarrow k_1 \rightarrow l \rightarrow m \rightarrow k_1 \rightarrow l$. Изменение параметров в такой последовательности соответствует граничному реберному маршруту, проходящему по вершинам: $V_1 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_7 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_1$.

Алгоритм для построения трехпараметрического интервального корневого годографа на ППП МаhtCAD имеет вид:

1.Задание функции изменения интервального параметра l при переходе

$V_1 \rightarrow V_5$:

$$\begin{array}{lll}
 M1 := m1 & K1 := k1 & L1 := l1, (l1 + 0.1) .. l2 \\
 B0(K1, M1, L1) := C0 \cdot K1 \cdot R^2 & & B1(K1, M1, L1) := C0 \cdot R^2 + R^2 \cdot T \cdot K1 \cdot C0 + X0 \cdot K1 \cdot R^2 + J \cdot \frac{C0}{M1} \\
 B2(K1, M1, L1) := X0 \cdot R^2 + X0 \cdot T \cdot K1 \cdot R^2 + J \cdot \frac{X0}{M1} & & B3(K1, M1, L1) := J \cdot L1 \\
 V1(K1, M1, L1) := \text{polyroots} \left(\begin{array}{l} B0(K1, M1, L1) \\ B1(K1, M1, L1) \\ B2(K1, M1, L1) \\ B3(K1, M1, L1) \end{array} \right)
 \end{array}$$

2.Задание функции изменения интервального параметра m при переходе

$V_5 \rightarrow V_6$:

$$\begin{aligned}
M2 &:= m1, (m1 + 0.1) .. m2 & L2 &:= l2 & K2 &:= k1 \\
\underline{B0}(M2, L2, K2) &:= C0 \cdot K2 \cdot R^2 & \underline{B1}(M2, L2, K2) &:= C0 \cdot R^2 + R^2 \cdot T \cdot K2 \cdot C0 + X0 \cdot K2 \cdot R^2 + J \cdot \frac{C0}{M2} \\
\underline{B2}(M2, L2, K2) &:= X0 \cdot R^2 + X0 \cdot T \cdot K2 \cdot R^2 + J \cdot \frac{X0}{M2} & \underline{B3}(M2, L2, K2) &:= J \cdot L2
\end{aligned}$$

$$V2(M2, L2, K2) := \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} \underline{B0}(M2, L2, K2) \\ \underline{B1}(M2, L2, K2) \\ \underline{B2}(M2, L2, K2) \\ \underline{B3}(M2, L2, K2) \end{pmatrix} \right)$$

3. Задание функции изменения интервального параметра k при переходе

$V_6 \rightarrow V_7$:

$$\begin{aligned}
L3 &:= l2 & K3 &:= k1, (k1 + 0.1) .. k2 & M3 &:= m2 \\
\underline{B0}(L3, K3, M3) &:= C0 \cdot K3 \cdot R^2 & \underline{B1}(L3, K3, M3) &:= C0 \cdot R^2 + R^2 \cdot T \cdot K3 \cdot C0 + X0 \cdot K3 \cdot R^2 + J \cdot \frac{C0}{M3} \\
\underline{B2}(L3, K3, M3) &:= X0 \cdot R^2 + X0 \cdot T \cdot K3 \cdot R^2 + J \cdot \frac{X0}{M3} & \underline{B3}(L3, K3, M3) &:= J \cdot L3
\end{aligned}$$

$$V3(L3, K3, M3) := \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} \underline{B0}(L3, K3, M3) \\ \underline{B1}(L3, K3, M3) \\ \underline{B2}(L3, K3, M3) \\ \underline{B3}(L3, K3, M3) \end{pmatrix} \right)$$

4. Задание функции изменения интервального параметра l при переходе

$V_7 \rightarrow V_3$:

$$\begin{aligned}
L4 &:= 50, 50.1 .. 100 & K4 &:= 50 & M4 &:= 500 \\
\underline{B0}(L4, K4, M4) &:= C0 \cdot K4 \cdot R^2 & \underline{B1}(L4, K4, M4) &:= C0 \cdot R^2 + R^2 \cdot T \cdot K4 \cdot C0 + X0 \cdot K4 \cdot R^2 + J \cdot \frac{C0}{M4} \\
\underline{B2}(L4, K4, M4) &:= X0 \cdot R^2 + X0 \cdot T \cdot K4 \cdot R^2 + J \cdot \frac{X0}{M4} & \underline{B3}(L4, K4, M4) &:= J \cdot L4
\end{aligned}$$

$$V4(L4, K4, M4) := \text{polyroots} \left(\begin{pmatrix} \underline{B0}(L4, K4, M4) \\ \underline{B1}(L4, K4, M4) \\ \underline{B2}(L4, K4, M4) \\ \underline{B3}(L4, K4, M4) \end{pmatrix} \right)$$

5. Задание функции изменения интервального параметра m при переходе

$V_3 \rightarrow V_4$:

$$L5 := 11 \quad K5 := k2 \quad M5 := m1, (m1 + 0.1) .. m2$$

$$\underline{B0}(L5, K5, M5) := C0 \cdot K5 \cdot R^2 \quad \underline{B1}(L5, K5, M5) := C0 \cdot R^2 + R^2 \cdot T \cdot K5 \cdot C0 + X0 \cdot K5 \cdot R^2 + J \cdot \frac{C0}{M5}$$

$$\underline{B2}(L5, K5, M5) := X0 \cdot R^2 + X0 \cdot T \cdot K5 \cdot R^2 + J \cdot \frac{X0}{M5} \quad \underline{B3}(L5, K5, M5) := J \cdot L5$$

$$V5(L5, K5, M5) := \text{polyroots} \begin{pmatrix} \underline{B0}(L5, K5, M5) \\ \underline{B1}(L5, K5, M5) \\ \underline{B2}(L5, K5, M5) \\ \underline{B3}(L5, K5, M5) \end{pmatrix}$$

6. Задание функции изменения интервального параметра k при переходе

$V_4 \rightarrow V_1$:

$$L6 := 11 \quad K6 := k1, (k1 + 0.1) .. k2 \quad M6 := m1$$

$$\underline{B0}(L6, K6, M6) := C0 \cdot K6 \cdot R^2 \quad \underline{B1}(L6, K6, M6) := C0 \cdot R^2 + R^2 \cdot T \cdot K6 \cdot C0 + X0 \cdot K6 \cdot R^2 + J \cdot \frac{C0}{M6}$$

$$\underline{B2}(L6, K6, M6) := X0 \cdot R^2 + X0 \cdot T \cdot K6 \cdot R^2 + J \cdot \frac{X0}{M6} \quad \underline{B3}(L6, K6, M6) := J \cdot L6$$

$$V6(L6, K6, M6) := \text{polyroots} \begin{pmatrix} \underline{B0}(L6, K6, M6) \\ \underline{B1}(L6, K6, M6) \\ \underline{B2}(L6, K6, M6) \\ \underline{B3}(L6, K6, M6) \end{pmatrix}$$

7. Отображение полученного граничного реберного маршрута

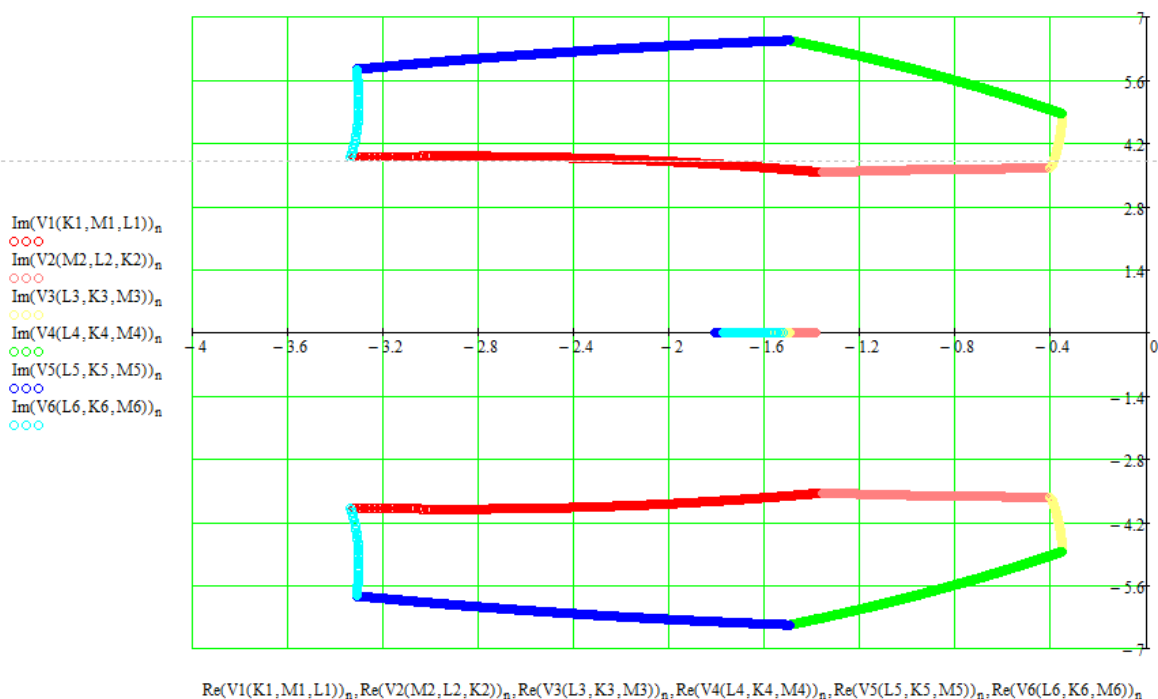


Рисунок 4.2 Интервальный корневой годограф при аффинной неопределенности коэффициентов характеристического полинома

Из рисунка 4.2 видно, что все ветви годографа лежат слева от мнимой оси комплексной плоскости. Таким образом, ССР при заданных границах интервальных параметров устойчива в любом возможном режиме работы, то есть робастно устойчива. Из рисунка 4.2 видно, что система имеет степень робастной устойчивости $\alpha = -0,35$ и степень робастной колебательности $\mu = 1,484$.

Отображение вместе с граничным реберным маршрутом и всех остальных ребер многогранника интервальных параметров на верхнюю полуплоскость корней представлено на рисунке 4.3, из которого видно, что искомые показатели робастного качества ССР определяются именно образами ребер граничного реберного маршрута.

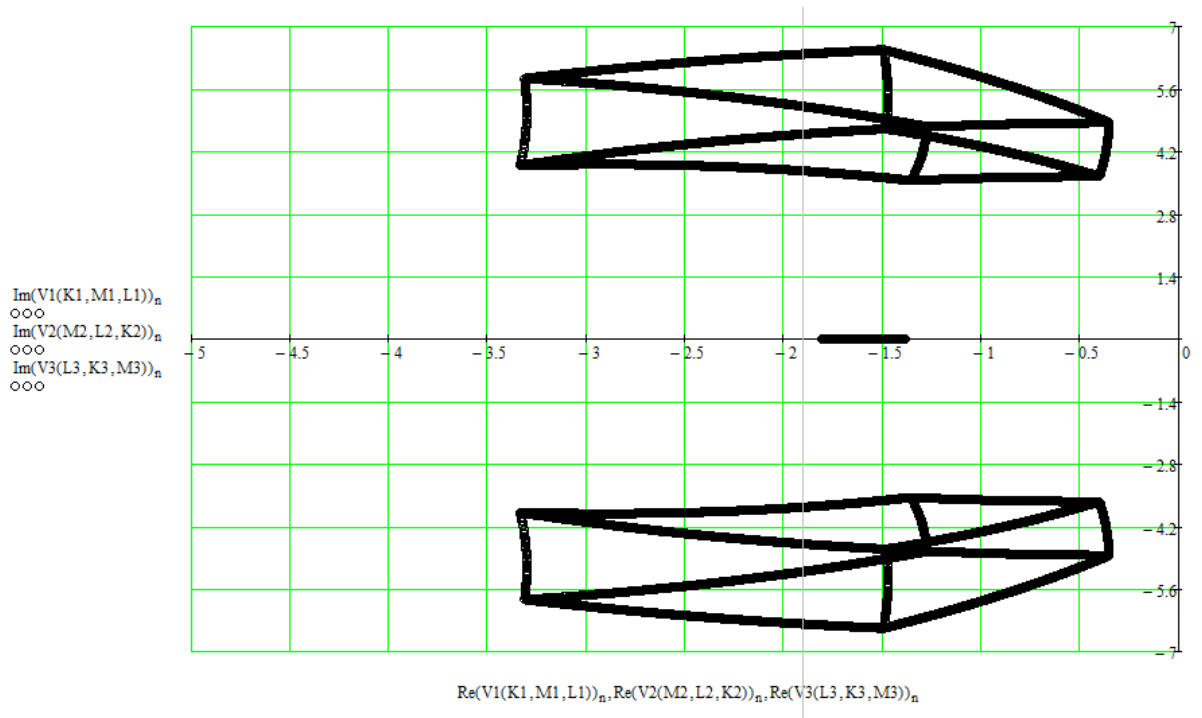


Рисунок 4.3 Интервальный корневой годограф при аффинной неопределенности коэффициентов характеристического полинома

4.3 Моделирование процессов в системе силовой разгрузки при изменении интервальных параметров

Для моделирования процессов в системе силовой разгрузки используем пакет SIMULINK на ППП MATLAB.

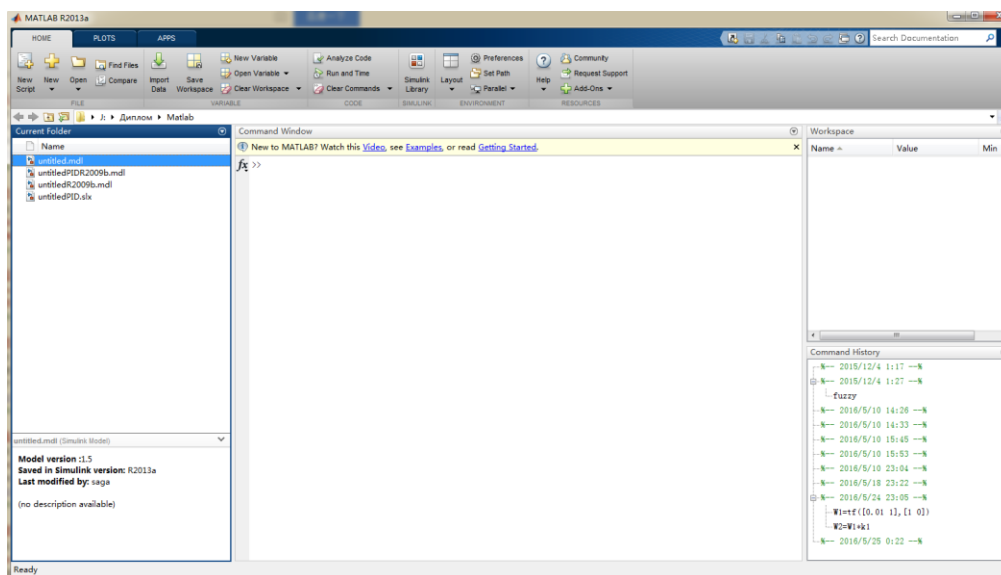


Рисунок 4.4 Основное окно программы

Сначала на основании структурной схемы ССР построить ее модель в SIMULINK. Для этого используем необходимые блоки из библиотеки SIMULINK

- блок преобразователя;
- блок суммирования;
- блок источника;
- блок осциллоскоп.

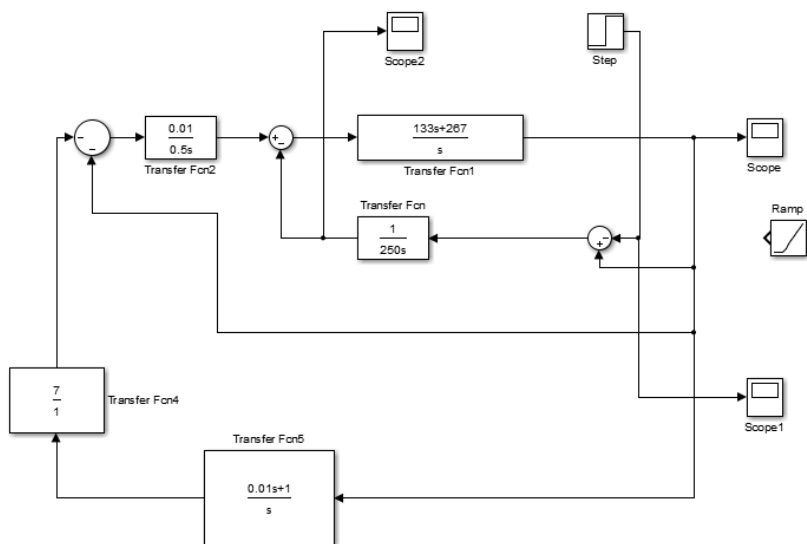


Рисунок 4.5 Модель ССР в ППП MATLAB

Посмотрите пример график изменения усиления оператор и график изменения силы натяжения троса в процессе автоматического управления с значением параметра, которым относятся в заданными интервальными значениям.

Для исследования устойчивости ССР нужно получить график троса и вывод система:

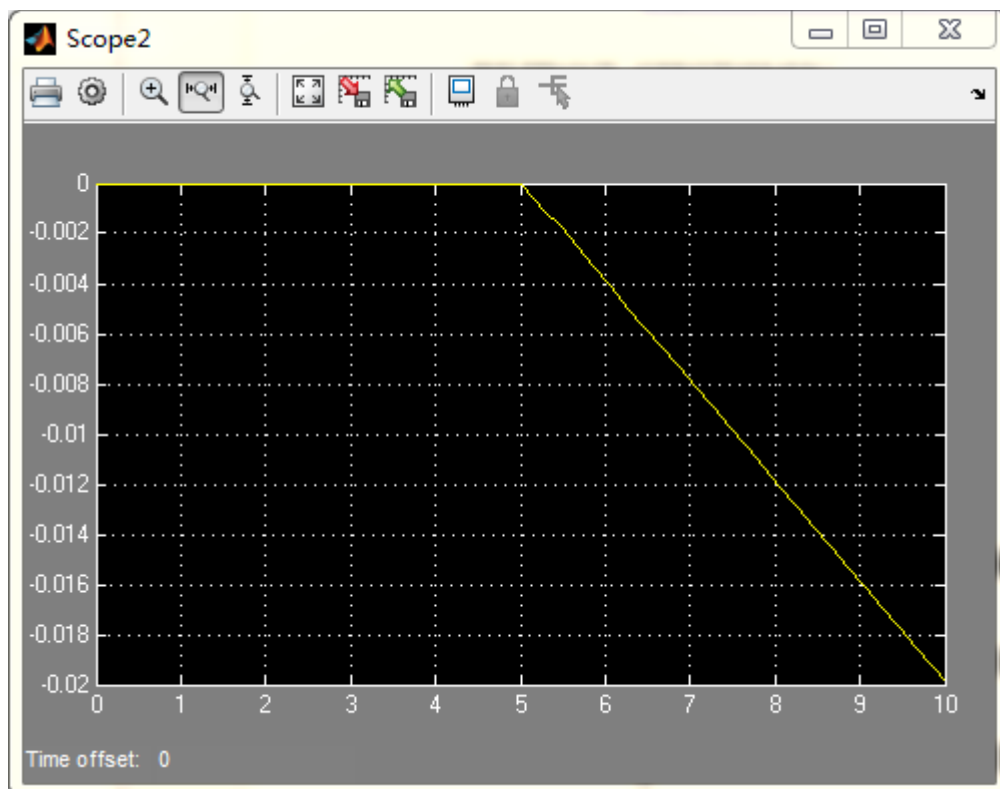


Рисунок 4.6 График изменения скорости движения груза при постоянном входном усилии и средних значениях интервальных параметров

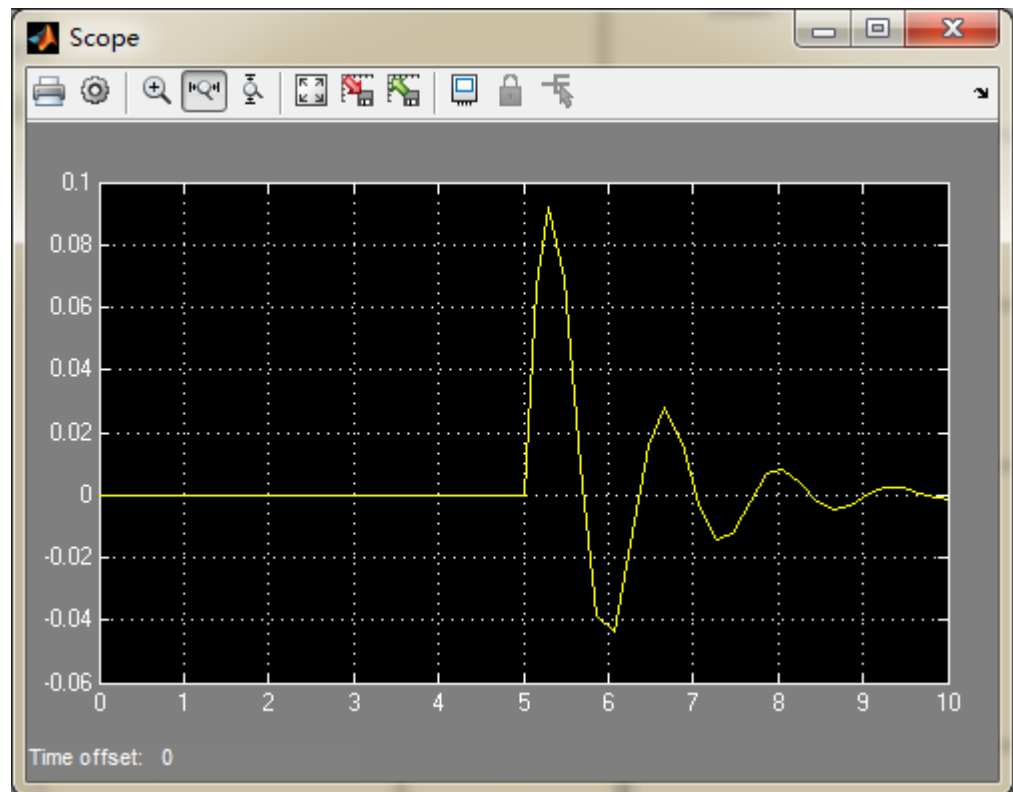


Рисунок 4.7 Отклонение натяжения троса ССР при средних значениях интервальных параметров

Из рисунков 4.6 и 4.7 видно, что время регулирования равно 4с, система устойчива, изменение натяжения троса стремится к 0, и груз движется с постоянным ускорением. Ниже на рисунках 4.8 – 4.15 построены графики переходных процессов натяжения в тросе ССР в различных вершинах $V_i(m,l,k_1)$

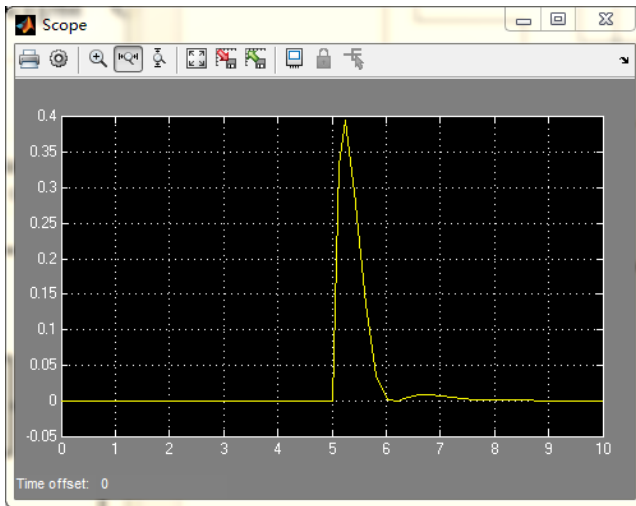


Рисунок 4.8 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_1(50,50,5)$

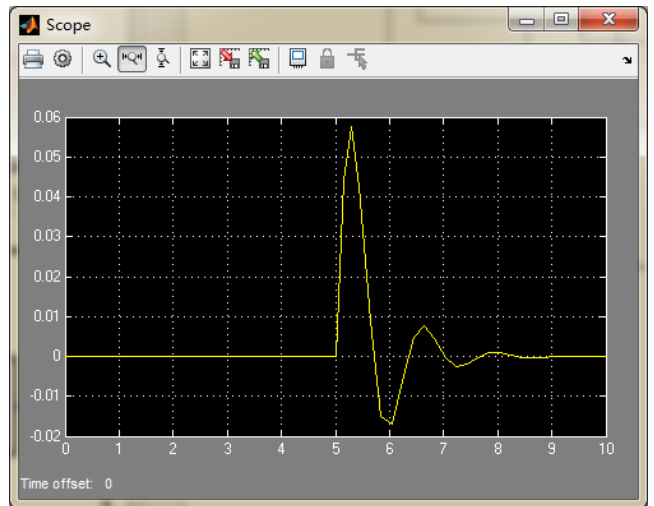


Рисунок 4.9 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_2(500,50,5)$

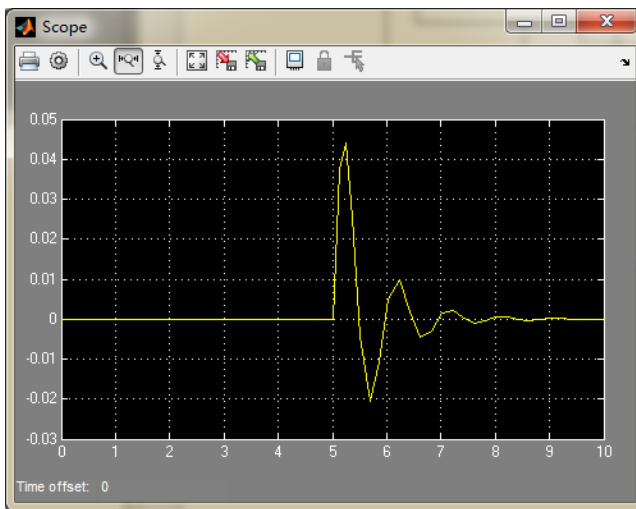


Рисунок 4.10 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_3(500,50,10)$

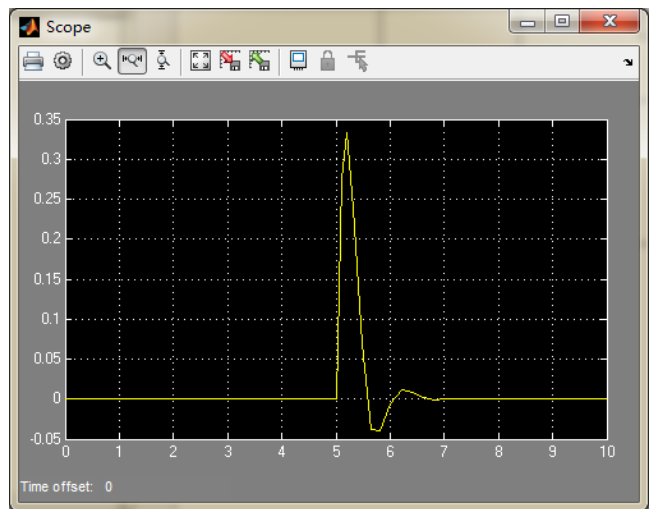


Рисунок 4.11 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_4(50,50,10)$

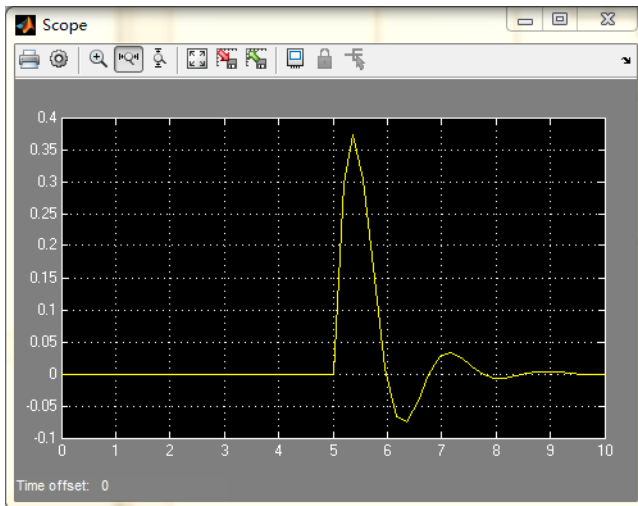


Рисунок 4.12 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_5(50,100,5)$

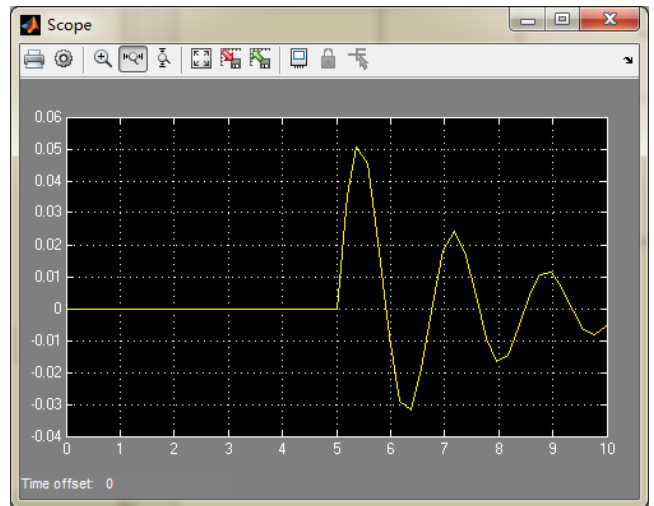


Рисунок 4.13 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_6(500,100,5)$

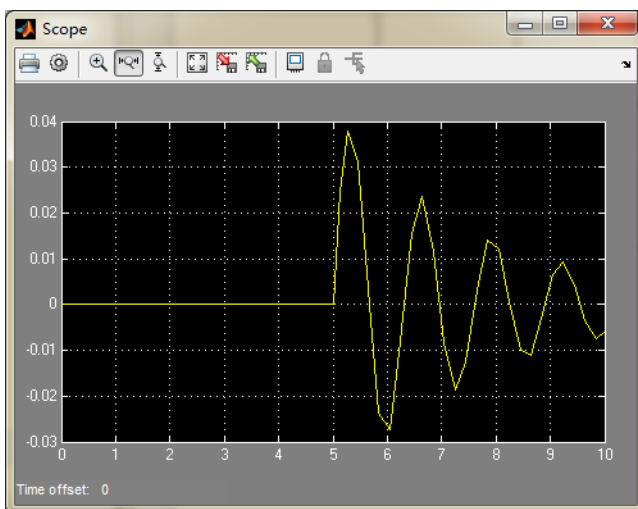


Рисунок 4.14 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_7(500,100,10)$

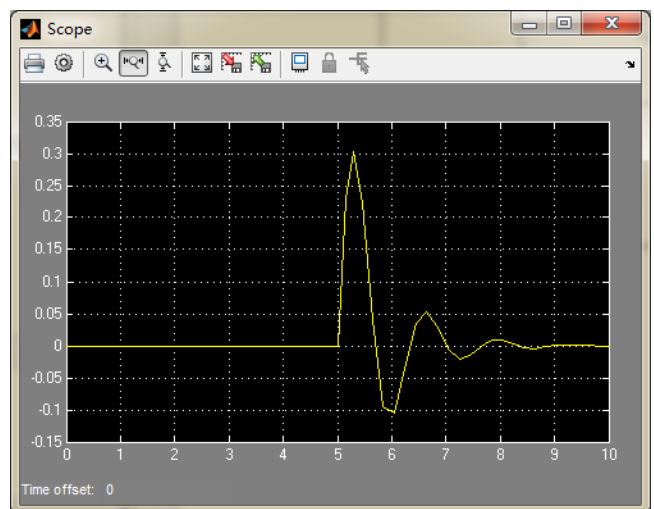


Рисунок 4.15 Отклонение натяжения троса ССР в вершине $V_8(50,100,10)$

Из рисунков 4.8 – 4.15 видно, что самое малое время регулирования, равное 1с, ССР имеет в вершине $V_1(50,50,5)$ при массе груза 50кг, длине троса 50м и значении коэффициента усиления электрической части привода, равным 5. Самое длительное время регулирования, равное 9с, ССР имеет в вершине $V_7(500,100,10)$ при массе груза 500кг, длине троса 100м и значении коэффициента усиления электрической части привода 10.

4.4 Выводы

В результате проведенного анализа САУ с нестабильными параметрами можно сделать вывод, что при использовании интервальной неопределенности коэффициентов, когда в них могут входить одни и те же интервальные параметры, существует погрешность определения корневых показателей робастного качества: степени робастной устойчивости и степени робастной колебательности. В результате этой погрешности устойчивая реальная система при заданных интервальных параметрах может оказаться даже неустойчивой в найденных проверочных вершинах многогранника коэффициентов. Причина – переограничение коэффициентов полинома, полученное в результате арифметических операций с интервальными параметрами, входящими в коэффициенты.

Более точное определение корневых показателей робастного качества возможно при использовании коэффициентов полинома, в которые линейно входят интервальные параметры системы (аффинная неопределенность коэффициентов). Для такого полинома предлагается применять реберную теорему, в соответствии с которой для определения корневых показателей робастного качества необходимо отобразить на плоскость корней все ребра многогранника интервальных параметров. При этом установлено, что нет необходимости отображать все ребра, а достаточно только те, которые составляют граничный реберный маршрут. Алгоритм его формирования разработан в ВКР.

Разработанные алгоритмы проверены на реальной системе силовой разгрузки, имеющей три интервальных параметра. Для этого использовался ППП MATLAB.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Данная квалификационная работа является анализом робастного качества систем автоматического управления с аффинной и интервальной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома. Работа предполагает разрабатываются методики анализа робастного качества САУ с различными типами неопределенности коэффициентов характеристического полинома и проводится сравнение их точности. В связи с тем, что на данном этапе реализации проекта в целом, отсутствуют условия для проведения физических экспериментов (в частности, прототип устройства находится в разработке), основным подходом к проведению запланированных исследований является компьютерное моделирование. Таким образом, основными рабочими средствами, задействованными в данной работе, являются ПК.

5.1 Производственная безопасность

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

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

Источник фактора – персональный компьютер;

Вредные факторы:

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

Опасный фактор – электрический ток.

5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

При исследовании работы индуктивного преобразователя перемещения могут негативно действовать следующие физические факторы:

- пониженная и повышенная температура воздуха;

- недостаточная освещенность рабочего места;
- опасность поражения электрическим током;
- превышающий допустимые нормы шум;
- недостаточная яркость экрана дисплея;
- повышенный уровень электромагнитных полей.

К химически опасным факторам, при проведении данного исследования, действующим на исследователя относятся следующие:

- возникновение активных частиц, в результате ионизации воздуха при работе компьютера.

Биологические вредные производственные факторы при проведении данного исследования отсутствуют.

К психологически вредным факторам, воздействующим на исследователя в течение времени исследования можно отнести следующие:

- умственное напряжение;
- нервно - эмоциональные перегрузки;
- перенапряжение зрительного анализатора.

а) Повышенный уровень электромагнитных излучений, электростатических полей

Основным оборудованием для выполнения ВКР является компьютер. При этом, опасным для разработчика фактором является высокое напряжение в электрической сети и как следствие, опасность поражения электрическим током. Напряжение в сети составляет 220В при частоте 50Гц, что является смертельно опасным в случае поражения работающего электрическим током.

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с компьютером в условиях повышенной влажности (относительная влажность

воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Таким образом, работа может проводиться только в помещениях без повышенной опасности, при этом существует опасность электропоражения:

- 1) при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- 2) при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- 3) при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- 4) имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Действующими нормативными документами приводятся следующие требования к уровню электромагнитных полей при работе с компьютером [3].

Таблица 5.1 - Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

В лаборатории используются приборы, потребляющие напряжение 220В переменного тока с частотой 50Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;

при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо не делая никаких самостоятельных исправлений сообщить ответственному за

оборудование;

запрещается загромождать рабочее место лишними предметами. При возникновении несчастного случая следует немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и, вызвав врача, оказать ему необходимую помощь.

Б) Повышенный уровень шума

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

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

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

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

Таблица 2 – Допустимый уровень звукового давления по видам трудовой деятельности [6]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Научная деятельность в лаборатории для теоретических работ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

В) Отклонения показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии в таблице 3.

Таблица 3 – Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к лёгкой физической работе категории I, с энергозатратами организма до 172 Дж/с, т.к. работа проводилась сидя, не требуя систематического

физического напряжения.

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём.

В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

Г) Недостаточное освещение рабочей зоны

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

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [5].

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

5.2 Экологическая безопасность.

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

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

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

На основе выполненного анализа влияния компьютерной техники на окружающую среду, стоит отметить, что современные ПК, практически не оказывают негативного влияния на окружающую среду, посредством электромагнитных (в разных диапазонах частот спектра) излучениях. Кроме того, для современных ПК характерен низкий уровень производимых шумов. Таким образом, при дальнейшем рассмотрении проблемы целесообразно

остановиться на последних двух факторах влияния.

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

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

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

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

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

Для оповещения о возникшем пожаре в дома установлены пожарные речевые системы оповещения, с требуемыми параметрами: уровень развиваемого давления 70 – 110дБА, равномерность частотной характеристики не более 16 дБ. Также на каждом этаже в коридорах дома огнетушитель ОП-4 и

вывешен план эвакуации, расположенный на видном месте. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

Анализ возможных причин загорания

Причиной загорания может быть:

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

Оценка пожарной безопасности помещения

Согласно нормам технологического проектирования [10], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д.

Наличие в лабораторной аудитории множества деревянных изделий (столы, шкафы), электропроводов напряжением 220В, а также применение электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами – паяльниками дает право отнести помещение по степени пожаро и взрывобезопасности к категории Д. Для категории Д характерно наличие в помещении:

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

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

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

В качестве возможных причин пожара можно указать следующие:

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

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

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

Пожарная профилактика

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

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

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

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

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

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

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль. Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

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

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

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

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

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

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [11].

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

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

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

рабочей позы.

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

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

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

6.1 Организация и планирование работ

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

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

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в

следующем порядке:

определение структуры работ в рамках научного исследования;

определение участников каждой работы;

установление продолжительности работ;

построение графика проведения научных исследований.

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

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл.4.

Таблица 1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель 100%
2	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель 100%, инженер 10%
3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель-30%, инженер-100%
4	Разработка календарного плана	Научный руководитель-20%, инженер-100%
5	Обсуждение литературы	Научный руководитель-30%, инженер-100%
6	Расчет принципиальной схемы устройства	Научный руководитель-20%, инженер-100%
7	Разработка ПО	Научный руководитель-20%, инженер-100%
8	Тестирование результаты	инженер-100%
9	Оформление расчетно-пояснительной записки	Инженер-100%
10	Оформление графического материала	Инженер-100%
11	Подведение итогов	Научный руководитель-70%, инженер-100%

6.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (6.1)$$

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

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

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

Для выполнения перечисленных в таблице 4 работ требуются специалисты:

инженер (И);

научный руководитель (НР).

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

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (6.2)$$

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

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних

факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{\text{вн}} = 1$;

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6.3)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6.4)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 366$);

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

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

$$T_{\text{к}} = \frac{366}{366 - 52 - 12} = 1,212$$

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

На основе табл. 2 строится календарный план-график. График строится для среднего по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл.3 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 6.2 – График проведения научного исследования

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

6.1.2 Расчет накопления готовности проекта

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

Введем обозначения:

- $TR_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость проекта;
- TR_i (TR_k) – трудоемкость *i*-го (*k*-го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TR_i^H – накопленная трудоемкость *i*-го этапа проекта по его завершении;
- TR_{ij} (TR_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых *j*-м участником на *i*-м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (6.5)

$$CG_i = \frac{TR_i^H}{TR_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TR_k}{TR_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TR_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TR_{km}}. \quad (6.5)$$

Применительно к таблице (5.2) величины TR_{ij} (TR_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TR_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета TR_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных содержится в таблице (4).

Таблица 6.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Постановка задачи	4,39	4,39
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	3,56	7,95
Подбор и изучение материалов по тематике	16,82	24,77
Разработка календарного плана	3,88	28,65
Обсуждение литературы	4,20	32,85
Выбор структурной схемы устройства	23,23	56,08
Выбор принципиальной схемы устройства	18,02	74,1
Расчет принципиальной схемы устройства	8,78	82,88
Оформление расчетно-пояснительной записки	8,32	91,2
Оформление графического материала	3,69	94,89
Подведение итогов	4,72	100,00

6.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

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

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;

- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

6.2.1 Расчет материальных затрат НТИ

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

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

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и

т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad ,$$

(6.6)

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

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

Таблица 6.5 – Материальные затраты

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

Расходы на материалы составили

Смат = 655 рублей.

6.2.2 Расчет заработной платы

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{24,83 \text{ дней}} \quad (6.7)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 9. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому

исполнителю брались из таблицы 5. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям $K_{ПР} = 0,3$ и районный коэффициент $K_{РК} = 0,3$ ($K = 1,3 * 1,3 = 1,69$).

Таблица 6.6 – Затраты на основную заработную плату

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

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$З_{ОСН} = 114765,032$$

6.2.3 Расчет затрат на социальный налог

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

6.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

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

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э} \quad (6.8)$$

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

$Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

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

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера ($T_{рд}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня

равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{рд} * K_t \quad (6.9)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{рд}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} * K_C \quad (6.10)$$

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

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

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 6.7.

Таблица 6.7 Затраты на электроэнергию технологическую

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

6.2.5 Расчет амортизационных расходов

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

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB}}{F_D} \cdot t_{рф} \cdot n, \quad (6.11)$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 40\%$; C_{OB} – цена оборудования, $C_{OB} = 70029$ руб.;

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

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, $t_{рф} = 118$ часа;

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

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

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

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

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

Итого $C_{AM} = 2443,96 \text{ руб} + 36 \text{ руб.} = 2479,96 \text{ руб.}$

6.2.6 Расчет прочих расходов

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

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам}) \cdot 0,1 \quad (6.12)$$

Подставим значения и вычислим:

$$C_{проч.} = (655 + 114765,032 + 34429 + 511,38 + 2479,96) \cdot 0,1 = 15284 \text{ руб.}$$

6.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

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

Таблица 6.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	655
Основная заработная плата	$C_{\text{ОСН}}$	114765
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	34429
Расходы на электроэнергию	Э	511,38
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2479,96
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{НР}}$	–
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	15284
Итого:		168124,34

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

6.2.8 Прибыль

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

6.2.9 НДС

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

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

6.2.10 Цена разработки НИР

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

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

6.3 Оценка экономической эффективности проекта

В рамках работы не представляется возможным оценить экономическую эффективность проекта, так как разработка носит чисто научный характер. В

процессе работы был произведен синтез системы автоматического управления заданной степени апериодической устойчивости. Методика синтеза регулятора основана на фиксировании ближайшего к мнимой оси вещественного корня системы в точке, обеспечивающей желаемую степень апериодической устойчивости системы и, соответственно, переходный процесс определенной длительности без перерегулирования.

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

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

Представленный метод может быть реализован в широком круге производств.

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

6.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

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

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок

признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (7.13)$$

где $K_{НТУ}$ – коэффициент научно-технического уровня;
 R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 6.9 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

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

Таблица 6.10 – Баллы для оценки уровня новизны

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

Таблица 6.11 – Баллы значимости теоретических уровней

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

Таблица 6.12 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

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

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

Баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

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

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

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

Таблица 6.13 – Оценка уровня научно-технического эффекта

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

Обоснование оценки признаков НИОКР приводится в таблице 18.

Таблица 18 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

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

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы исследованы возможности анализа робастного качества системы с интервальными параметрами двумя методами, основанными на задании коэффициентов характеристического полинома 1) в интервальном виде; 2) в виде аффинной зависимости от реальных интервальных параметров системы.

Установлено, что при использовании корневых оценок робастного качества (степени робастной устойчивости и степени робастной колебательности) лучшую точность анализа дает использование полинома с аффинной неопределенностью. При этом первый метод предполагает анализ показателей в проверочных вершинах многогранника интервальных коэффициентов полинома, а второй – отображение на корневую плоскость граничного реберного маршрута многогранника интервальных параметров системы.

Результаты теоретических исследований проверены на числовом примере анализа системы силовой разгрузки с интервальными параметрами. Для его решения использовались ППП MathCAD и ППП Matlab.

Приложение А

Раздел 3

The mathematical model of the system weight compensate with interval parameters

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Лань Гунбо		

Консультант кафедры АИКС

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Стр. преподаватель	Логинова А.В.	к.ф.н.		

The mathematical model of the system weight compensate with interval parameters

1. Problem Statement

Currently, the crucial task is to endue materials-handling machines with intellectual properties. The benefits of intelligence system use in materials-handling machines are as follows:

- road section reduction;
- optimal control;
- congestion-free motion;
- prevention of cargo collisions with the objects in the work area;
- emergency protection;
- stabilization, preventing cargo wiggling;
- software constraint of maximal displacement speeds.

Due to the feature of the aforementioned process, the executive mechanism control system must meet the following requirements:

- fast response time;
- transient process dead beat;
- transient process dead beat maintenance when the load is increased.

A weight compensation system is a category of materials-handling machine control systems. They provide smooth and accurate handling loads at work with the direct operator control of the load by a small hand targeted force, which sets the load handling route and speed.

The weight compensation system is a dual-mass electromechanical elastic constraint system.

Mass is a shift cargo weight and an equivalent weight of materials-handling machine electric drive. An elastic constraint is a wire rope cable segment between the suspended load and the electric drive drum where the cable is picked up.

The weight compensation system feature is an interval uncertainty of its parameters such as shift cargo weight and the length of the wire rope cable segment

between the cargo and the electric drive drum.

To compensate the load weight, the slack rope sensor, an output signal of which is zero when there is no external force on the load, is involved in the system. The sensor signal is fed to the electric drive control system. Under the influence of the operator on the load, the cable pull-up fixed by the pull-up sensor changes. In accordance with the sensor signal, the pull-up arising in the cable is compensated by an electric drive operation that lifts the load by winding the cable on the drum or lowers the load by hanking from the drum. As a result, the wire-rope cable pull-up does not change and it indicates the load weight compensation.

Using this system, the operator can move heavy loads (up to 500 kg.), putting in minimum efforts.

Since the weight compensation system has interval parameters, it is necessary to set its control device under conditions of parametric uncertainty. The synthesis task of this robust control device is also complicated by an elastic constraint in the form of a wire-rope cable that may cause oscillations in the system. Thus, it is necessary for the system to be able to shift cargos on any weight and wire-rope cable length change with known intervals.

FL130BYG-2503 high torque step motor $M = 50L \cdot m$ was used in the weight compensation system. Dacell tensile and compression UU force sensor performed the force measurement.

2. System functional diagram

A mathematical model of the weight compensation system is developed in this section.

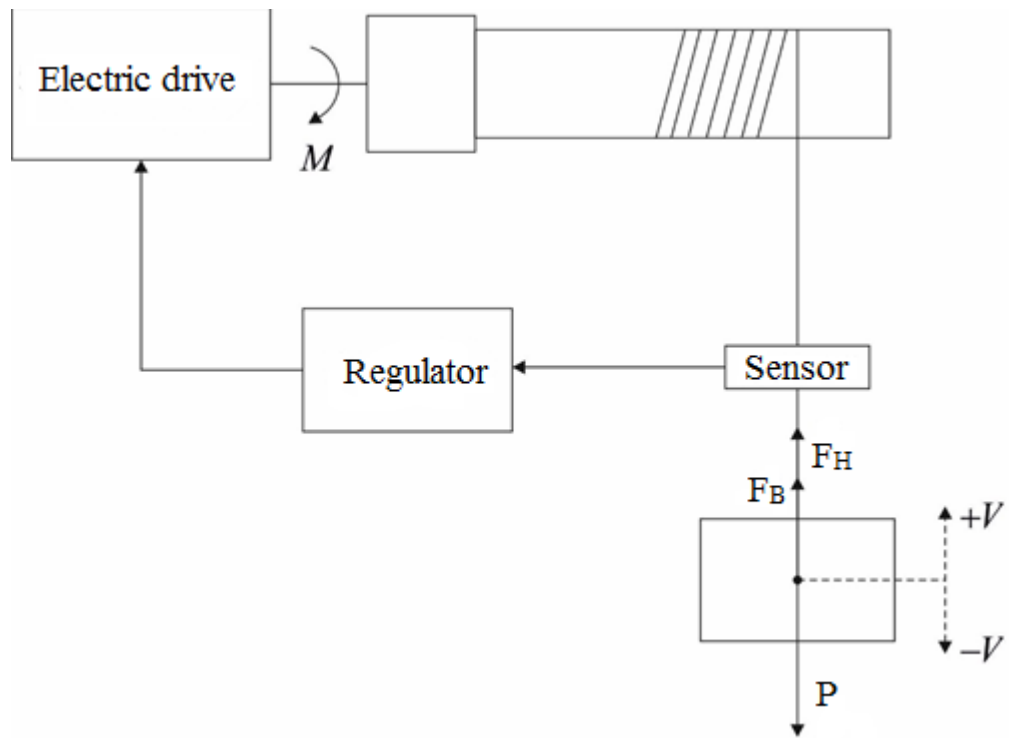


Fig. 3.1 - Functional diagram of the weight compensation system

F_B While setting up differential equations that describe the cargo and drum movement under the action of forces applied to them, the following assumptions are accepted:

- friction in the gearbox and the drum is off;
- pull-up sensor weight is equal to zero;
- pull-up sensor spring stiffness pull-up is equal to infinity.

As a result of the generalized controlled object description of the weight compensation system it is possible to get an operator form system of under zero initial conditions:

$$m \frac{d\Delta V_R}{dt} = \Delta F_H - \Delta F_B ;$$

$$\Delta F_H = \left(\frac{C + \chi p}{p} \right) (\Delta V_{TR} - \Delta V_R) ;$$

$$\Delta F_{eng} = \left(\frac{C_M}{r} \left(\frac{1/R_r}{T_r p + 1} \right) \right) \left(U_{eng} - \frac{C_e \Delta V_{tr}}{r} \right);$$

$$\left(T_{amp} \frac{dU_{out}}{dt} + U_{out} \right) = k_{amp} U_{inp};$$

$$\Delta U_{TS} = k_{TS} \Delta F_H,$$

where $k_{eng} = 5 L/V$ – drive amplification coefficient;

$T_{eng} = 0.01 s$ – electromagnetic time engine;

$C_e = 0.05 V \cdot s/rad$ – back-electromotive force;

$J = 0.5 kg \cdot m^2$ – equivalent moment of inertia of the moving masses;

$k_{amp} = 100$ – amplifying device transfer coefficient;

$T_{amp} = 0,001 s$ – amplifying device response time;

$C_{sp} = 1000000 L/m$ – wire-rope cable stiffness-to-weight ratio;

$\chi_{sp} = 100000 L \cdot s/m$ – elasticity loss distribution coefficient (damping factor);

$m = [50; 500] kg$ – load weight;

$l = [5; 50] m$ – wire-rope cable length;

$r = 0,05 m$ - block radius.

In accordance with the obtained differential equations the generalized block diagram of the controlled object is made (Figure 3.2).

The studied weight compensation system is a dual-mass elastic electromechanical system.

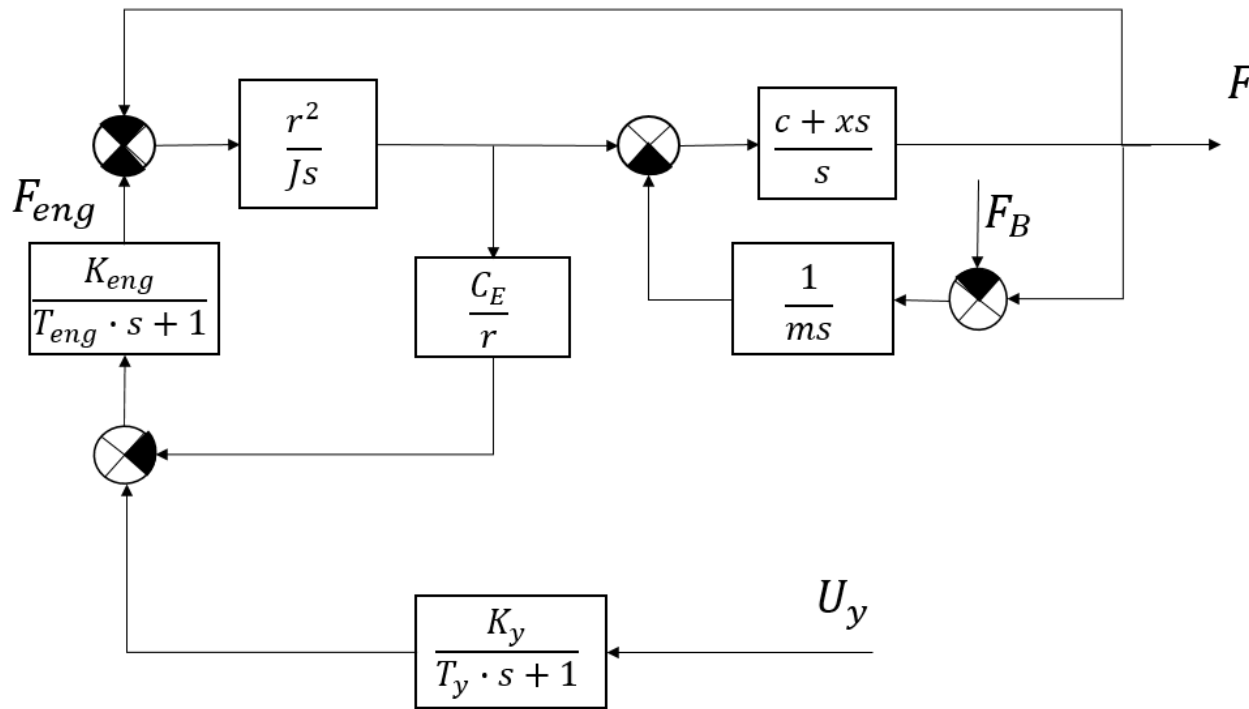


Fig. 3.2 - Block diagram of the generalized controlled object

The wire-rope cable stiffness-to-weight ratio is determined by the formula

$$C = \frac{C_{sp}}{l}$$

An elasticity loss distribution coefficient depends on the wire-rope cable length

$$\chi = \frac{\chi_{sp}}{l}$$

The coefficient C_E characterizes the back-electromotive force of the drive and can be neglected due to the electric drive high-speed response.

As a result, the weight compensation system block diagram that includes the control device, electrical and mechanical part, will look as shown in Figure 3.3

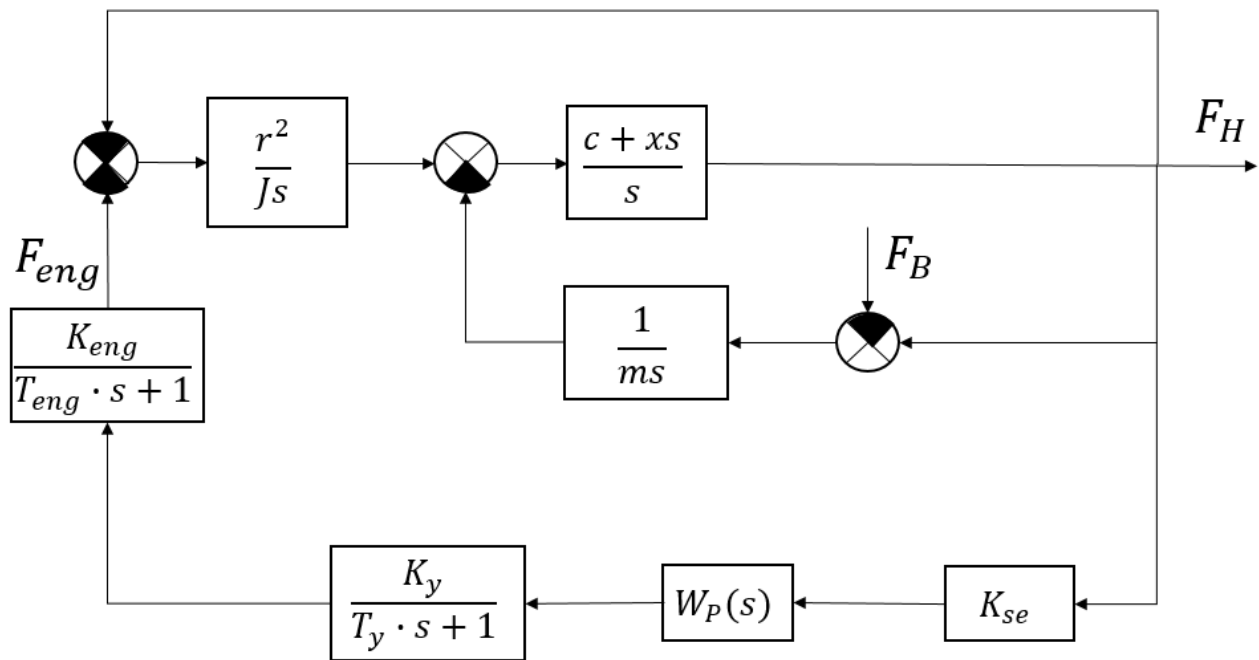


Fig. 3.3 - Simplified block diagram of the weight compensation system

In figure 3.3 there are new notations k_{se} – pull-up sensor coefficient; $W_p(s)$ – control device transfer function. PID–controller $W_p(s) = \frac{k_1 s + k_0}{s}$ with three configurable parameters is chosen as $W_p(s)$.

3 System transfer function

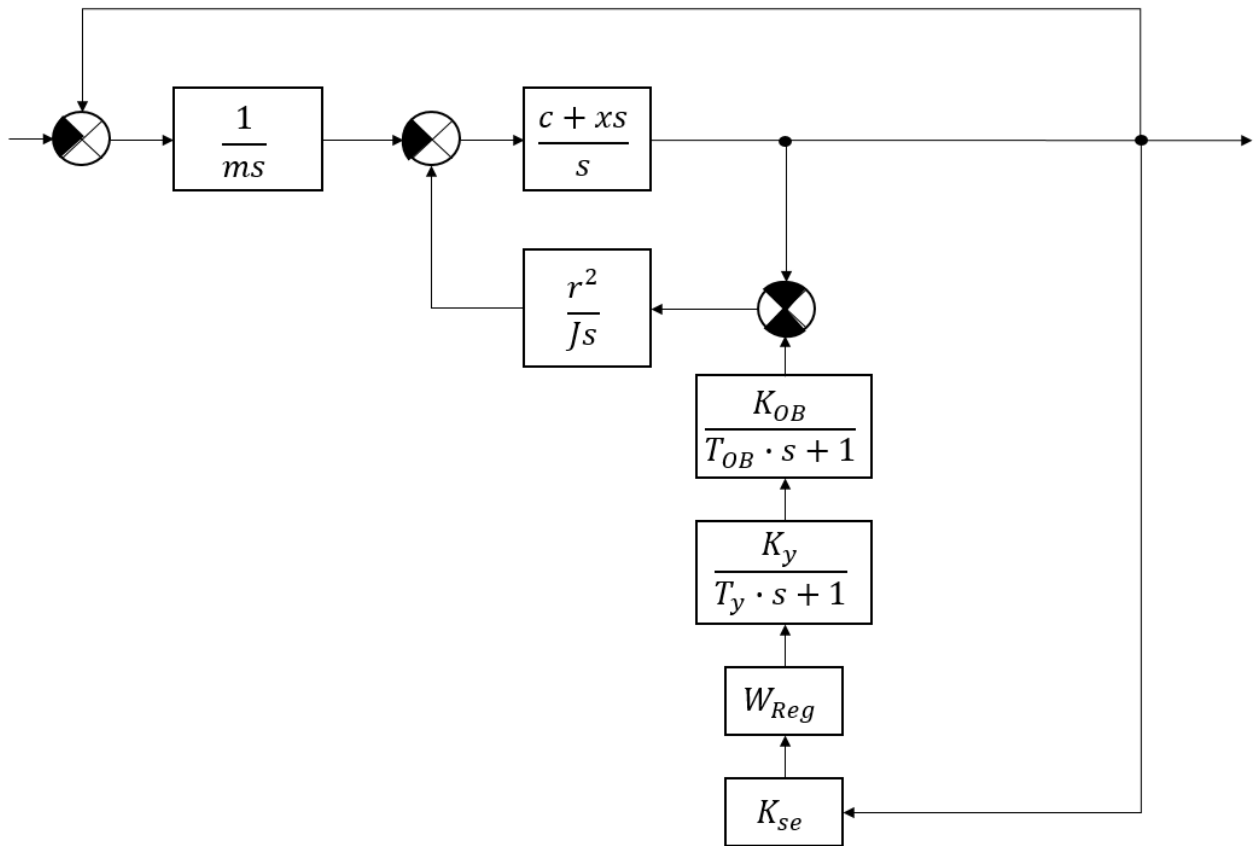


Fig. 3.4 Transfer function diagram

At first converted $W^* = \frac{k_{06}}{(T_{06} \cdot s + 1)} \cdot \frac{k_y}{(T_y \cdot s + 1)} \cdot \frac{k_2(T \cdot s + 1)}{s} \cdot k_{0n}$, Then we obtain the

following diagram in Figure 3.5.

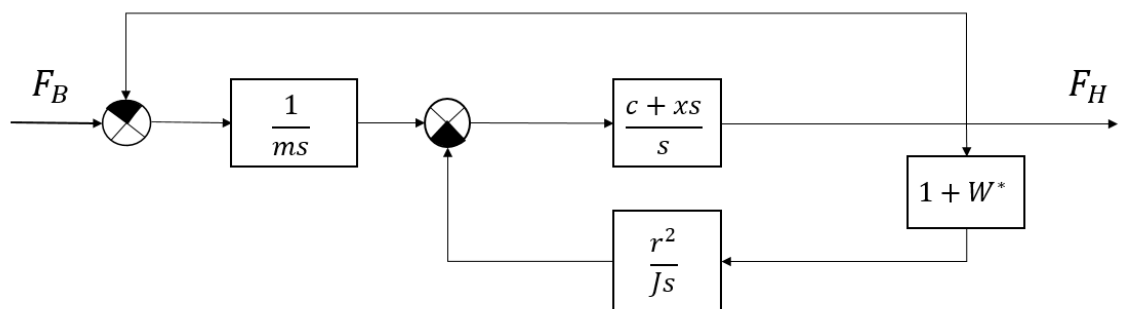


Рисунок 3.5 Transfer function diagram

Carry out further transformation of the structure in Figure 3.5.

$$W_{np}(s) = \frac{\frac{\frac{c + \chi s}{s} \cdot \frac{1}{ms}}{1 + \frac{(c + \chi s)}{s} \cdot \frac{r^2}{Js} \cdot (1 + W^*)}}{\frac{\frac{c + \chi s}{s} \cdot \frac{1}{ms}}{1 + \frac{(c + \chi s)}{s} \cdot \frac{r^2}{Js} \cdot (1 + W^*)}}$$

As a result, we obtain the transfer function of the closed system, input of system is the operator effort and output - the change of tension force in the rope.

$$W(s) = \frac{J\chi \cdot s^2 + CJ \cdot s}{J[l][m] \cdot s^3 + (J\chi + \chi[m]r^2(1 + Tk_1k_2)) \cdot s^2 + (CJ + C[m]r^2 + k_1k_2[m]r^2(\chi + TC)) \cdot s + [m]Ck_1k_2r^2}$$

The initial information to solve the stated problem is the characteristic polynomial of the system - the denominator $W_{3AM}(s)$. It has the form of

$$a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 = 0$$

PID-controller parametric synthesis was carried out in accordance with the developed procedure to ensure the desired degree of dead-beat stability and robust dominance quasimaximal degree. The loop system interval characteristic polynomial was obtained.

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0, \quad (3.1)$$

где

$$[a_0] = [m]Ck_1k_2r^2;$$

$$[a_1] = CJ + C[m]r^2 + k_1k_2[m]r^2(\chi + TC);$$

$$[a_2] = J\chi + \chi[m]r^2(1 + Tk_1k_2);$$

$$[a_3] = J[l][m];$$

Substituting the controlled object parameter values in the polynomial coefficients (4.1) and taking into account that the cargo weight can vary in the range of $50 \text{ kg} \leq m \leq 100 \text{ kg}$ and the wire-rope cable length is in the range of $5 \text{ m} \leq l \leq 10 \text{ m}$, it

is possible to determine the variation intervals of the characteristic polynomial coefficients (4.1).

$$[a_0] \in 200 \cdot [m] \cdot [k_1];$$

$$[a_1] \in 102 \cdot [k_1] \cdot [m] + 10000 + 200 \cdot [m];$$

$$[a_2] \in [k_1] \cdot [m] + 5000 + 100 \cdot [m];$$

$$[a_3] \in 0.5 \cdot m \cdot [l];$$

It is worth mentioning that PID-controller settings are a part of the interval polynomial coefficients (3.1).

As a result, the characteristic polynomial of the system (3.1) can be written as

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

Список литература

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2004. – 576 с.
2. Белов, М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации / М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др. – М.: Академия, 2006. – 368 с.
3. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский – М.: Академия, 2006. – 272 с.
4. Ackermann, J. Parameter space design of robust control systems / J. Ackermann // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1980. – Vol. 25, № 6. – P. 1058-1072.
5. Bhattacharyya, S.P. Robust control: The parametric approach / S.P. Bhattacharyya, H. Chapellat, L.H. Keel – Prentice-Hall, 1995. – 672 p.
6. Неймарк, Ю.И. Робастная устойчивость линейных систем / Ю.И. Неймарк // ДАН. – 1991. – Том 319, № 3. – С. 578-580.
7. Гусев, Ю.М. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы). Анализ с использованием интервальных характеристических полиномов / Ю.М. Гусев, В.Н. Ефанов, В.Г. Крымский // Техническая кибернетика. – 1991. – № 1 – С. 3-30.
8. Хлебалин, Н.А. Построение интервальных полиномов с заданной областью расположения корней / Н.А. Хлебалин // Аналитические методы синтеза регуляторов. – Саратов: Изд. Саратовского политех. ин-та, 1982. – С. 92-98.
9. Ackermann, J. Uncertainty structures and robust stability analysis / J. Ackermann // Proceedings of European Control Conference. – 1991. – P. 2318-2327.
10. Barlett, A.C. Root location of an entire polytope of polynomials: it suffices to check the edges / A.C. Barlett, C.V. Hollot, H. Lin // Mathematics of Controls, Signals and Systems. – 1988. – Vol. 1. – P. 61-71.
11. Fu, M.Y. Robust stability for time-delay systems: The edge theorem and

graphical tests / M.Y. Fu, A.W. Olbrot, M.P. Polis // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1989. – Vol. 34, № 8. – P. 306-311.

12. Soh, Y.C Generalized edge theorem / Y.C. Soh, Y.K. Foo // Systems and Control Letters. – 1989. – Vol. 12, № 3. – P. 219-224.

13. Soh, Y.C. A note on the edge theorem / Y.C. Soh, Y.K. Foo // Systems and Control Letters. – 1990. – Vol. 15, № 1. – P. 41-43.

14. Xiao, Y. Edge test for domain stability of polytopes of two-dimensional (2-D) polynomials / Y. Xiao // Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control. – Sydney, NSW, 12-15 December 2000. – Vol. 2. – P. 4215-4220.

15. Barlett, A.C. Root location of an entire polytope of polynomials: it suffices to check the edges / A.C. Barlett, C.V. Hollot, H. Lin // Mathematics of Controls, Signals and Systems. – 1988. – Vol. 1. – P. 61-71.

16. Вадутов, О.С. Определение границ областей локализации нулей и полюсов системы с интервальными параметрами / О.С. Вадутов, С.А. Гайворонский // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, № 1. – С. 64-68.

17. Вадутов, О.С. Применение реберной маршрутизации для анализа устойчивости интервальных полиномов / О.С. Вадутов, С.А. Гайворонский // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2003. – № 6. – С. 7-12.

18. Гайворонский, С.А. Анализ региональной робастной устойчивости системы методом интервального корневого годографа / С.А. Гайворонский, О.С. Вадутов, С.В. Новокшенов // Тез. Докл. Рег. Научн. Конфер. Наука, Техника, Инновации. – Новосибирск: Издат. НГТУ, 2001.

19. Гайворонский, С.А. Анализ робастной относительной устойчивости на основе многопараметрического интервального корневого годографа / С.А. Гайворонский, С.В. Новокшенов // Тез.докл. X междунаод. Научн.-технич. Конф. Состояние и перспективы развития электротехнологии. – Иваново: Издат. ИГЭУ, 2001.

20. Гайворонский, С.А. Построение границ корневых областей систем с

интервальными параметрами / С.А. Гайворонский, С.В. Новокшенов // Современные техника и технологии. Тез.докл. VII международ. научн.-практич. конф. –Томск: изд.ТПУ, 2001. – С 260-263.

21. Римский Г.В. Корневой метод решения задач устойчивости интервальных систем // Весци АН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 1994. – № 4. – С. 80–85.

22. Гусев Ю.М., Ефанов В.Н., Крымский В.Г., Рутковский В.Ю. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы). Анализ с использованием интервальных характеристических полиномов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1991. – № 1. – С. 3–23.

23. Удерман Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматического управления. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963- 112 с.

24. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера://под ред. Проф. В.Ф. Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284с.

25. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. - 3-е изд., перераб. И доп. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. - 178 с.

26. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы»

27. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие/Амелькович Ю.А., Анищенко Ю.В., А. Н. Вторушина, М. В. Гуляев, М. Э. Гусельников, А. Г. Дашковский, Т. А. Задорожная, В. Н. Извеков, А. Г. Кагиров, К. М. Костырев, В. Ф. Панин, А. М. Плахов, С. В. Романенко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 236с.

28. СНиП 23 – 05 – 95* «Естественное и искусственное освещение» (с изменением N 1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и

нормативно – технической документации.

29. ГОСТ 12.1.003-76. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

30. СанПиН 11 – 12 – 77. Санитарные правила и нормы «Защита от шума. Нормы проектирования».

31. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

32. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

33. В.М.Нагорный, Г.М.Федоров. Организация работы комиссии по чрезвычайным ситуациям объекта / Под ред. В.В. Шевченко. - [Электронный ресурс].

34. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

35. Кнышова Е. Н. Экономика организации: учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.

36. Бочаров В.В. Инвестиции: учебник для вузов / В. В. Бочаров. – 2-е изд. – СПб: Питер, 2009. – 381 с. – Учебник для вузов.

37. Староверова Г.С. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Г.С. Староверова, А.Ю. Медведев, И. В. Сорокина. – 2-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2009. – 312 с

38. Несветаев Ю.А. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Ю. А. Несветаев; Московский Государственный индустриальный университет; Институт дистанционного образования. – 3-е изд., стер. – Москва: Изд-во МГИУ, 2006. – 162 с.

39. Шульмин В.А. Экономическое обоснование в дипломных проектах :

учебное пособие для вузов / В.А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 192 с.

40. Голосовский С.И. Эффективность научных исследований в промышленности / С. И. Голосовский. – Москва: Экономика, 1986. – 159 с.

41. Мигуренко Р.А. Научно-исследовательская работа: учебно-методическое пособие / Р.А. Мигуренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 184 с.