

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт кибернетики
Направление 27.04.04 «Управление в технических системах»
Кафедра автоматики и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Анализ и синтез интервальной системы низкого порядка

УДК658.512.4.011.56

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Ченкова Оксана Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Пушкарев М.И.	к.т.н.		

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

Кодрезультата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
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 бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт кибернетики
 Направление 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Кафедра автоматизации и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Ченковой Оксана Александровне

Тема работы:

Анализ и синтез интервальной системы низкого порядка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2816/с от 13.04 .2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2016 г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– ППП Mathcad 14; – ППП MatlabR203b.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Введение; – Методика синтеза ПИ-регулятора стационарной системы 3-го порядка; – Решение поставленной задачи по методике синтеза ПИ-регулятора; – Методика синтеза ПИД-регулятора интервальной системы 3-го порядка; – Решение поставленной задачи по методике синтеза ПИД-регулятора; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Социальная ответственность; – Заключение.
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Анищенко Ю. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Системы управления с интервальными параметрами	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику:	25.09.15 г.
---	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Пушкарев М.И.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Ченкова Оксана Александровна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт кибернетики
 Кафедра автоматизации и компьютерных систем
 Направление 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Уровень образования – магистр
 Период выполнения – осенний/весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2016 г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2016 г.	Основная часть	60
20.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
20.05.2016 г.	Социальная ответственность	10
27.05.2016 г.	Обязательное приложение на иностранном языке	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Пушкарев М.И.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Ченковой Оксана Александровне

Институт	ИК	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	220400 «Управление в технических системах»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос, наблюдение.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализ: оценка потенциальных потребителей, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИИ.
2. Планирование проведения и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НИИ, разработка графика проведения НИИ, планирование бюджета НИИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности для всех видов исполнения НИИ.

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Ченкова Оксана Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Ченковой Оксана Александровне

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения

Объектом исследования является метод анализа и синтеза интервальных систем низкого порядка. Область применения: внедрение метода при настройках регулятора в промышленных масштабах.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- действие фактора на организм человека:
 - повышенный уровень шума;
 - несоответствующий микроклимат рабочего помещения;
 - повышенный уровень электромагнитных излучений;
 - недостаточная освещенность рабочего помещения;

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- электрический ток

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);

разработать решения по обеспечению экологической

- Воздействие на литосферу в случае утилизации персонального компьютера, как отход электронной промышленности.

безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07. 04. 2016
--	--------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Ченкова Оксана Александровна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страниц текста, 12 рисунков, 21 таблиц, 38 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: система автоматического управления, анализ и синтез регулятора, методы синтеза, интервальная система, интервальная неопределенность, показатели качества, переходный процесс, регулирование, полюсы.

Объектом исследования является замкнутая система низкого порядка, в которой производится измерение действительного значения выходного сигнала, которое затем сравнивается с его желаемым значением.

Целью работы является синтез линейных регуляторов, обеспечивающих в системах низкого порядка заданную степень 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 исследования является методика синтеза линейных регуляторов для систем низкого порядка, позволяющих располагать корни характеристического полинома замкнутой системы желаемым образом, при этом обеспечивая в системе заданную степень доминирования вещественного полюса.

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

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

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- АФХ – амплитудно-фазовая характеристика;
АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;
ФЧХ – фазо-частотная характеристика;
АФЧХ – амплитудно-фазовая частотная характеристика;
САУ – система автоматического управления;
ИСАУ – интервальная система автоматического управления;
ПФ – передаточная функция;
ОУ – объект управления;
ИХП – интервально-характеристический полином;
ХП – характеристический полином;
ПИД – пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор;
ПИ – пропорционально-интегрирующий.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1. Методы синтеза регулятора.....	15
1.1. Синтез регуляторов полного порядка.....	15
1.2. Синтез регулятора пониженного порядка	16
2. Системы управления с интервальными параметрами	19
2.1.Интервалы и интервальная арифметика	20
2.2.Интервальные характеристические полиномы	21
2.3.Отображение многогранника коэффициентов ИХП на корневую плоскость	23
3. Постановка задачи	25
3.1. Обеспечение доминирования вещественного полюса стационарной САУ	29
3.1.1. Разделение характеристического полинома на доминирующий и свободный	30
3.1.2. Обеспечение доминирования вещественного полюса стационарной САУ.....	31
3.1.3. Методика синтеза ПИ-регулятора стационарной системы 3-го порядка	34
3.1.4. Решение поставленной задачи.....	34
3.2. Обеспечение доминирования вещественного полюса интервальной САУ	37
3.2.1. Разделение характеристического полинома на доминирующий и свободный	38
3.2.2. Основные соотношения для выбора параметров робастного регулятора интервальной системы низкого порядка	39
3.2.3. Методика синтеза ПИД-регулятора интервальной системы	40
3.2.4. Решение поставленной задачи.....	41
3.3. Основные результаты	45
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 	47

4.1.	Организация и планирование работ	47
4.1.1.	Продолжительность этапов работ	49
4.1.2.	Расчет накопления готовности работ	54
4.2.	Расчет сметы затрат на создание макета КУ	58
4.2.1.	Расчет затрат на материалы	58
4.2.2.	Расчет основной заработной платы	59
4.2.3.	Расчет отчислений от заработной платы	60
4.2.4.	Расчет затрат на электроэнергию	61
4.2.5.	Расчет амортизационных расходов.....	62
4.2.6.	Расчет прочих расходов	63
4.2.7.	Расчет общей себестоимости разработки	63
4.2.8.	Расчет прибыли	64
4.2.9.	Расчет НДС	64
4.2.10.	Цена разработки НИР	64
4.3.	Оценка экономической эффективности проекта	66
5.3.1.	Оценка научно-технического уровня НИР	66
5.	Социальная ответственность	71
5.1.	Введение	71
5.2.	Производственная безопасность	71
5.2.1.	Отклонение параметров микроклимата	72
5.2.2.	Недостаточность освещения	73
5.2.3.	Повышенный уровень шума	73
5.2.4.	Повышенные уровни электромагнитного поля	75
5.2.5.	Электрический ток	77
5.3.	Экологическая безопасность	77
5.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
5.5.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	80
	Заключение	83

Список используемой литературы (Control systems with interval parameters)	85
---	-----------

Введение

Очень много работ посвящены анализу и синтезу линейных систем автоматического управления, но до сих пор остаются нерешенными многие проблемы для этого класса систем. Большой вклад в развитие таких систем внесли такие отечественные и зарубежные ученые как Бесекерский В.А., Воронов А.А., Попов Е.П., Неймарк Ю.И., Деруссо П., Chen С.Т. и др., результаты которых описаны во многих учебных пособиях и научных статьях [1,28,29,30]. В настоящее время спектр проблем расширился и сместился в область исследования систем управления с линейным регулятором низкого порядка с распределенными параметрами, с неопределенными (интервальными) параметрами, и др. Очень часто параметры объекта управления могут изменяться в процессе функционирования систем, это связано со старением оборудования, с погрешностями измерений т.д. В таком случае говорят о системах, физические параметры которых известны неточно, либо могут изменяться в заранее известных интервалах. Часто в промышленности встречаются такие технические системы, переходные процессы в которых не допускают колебаний и должны гарантированно иметь аperiodический характер (прокатные станы, бумагоделательные машины, антенные установки, следящие системы, используемые в оборонных комплексах). Как для наладчика, так и для научного работника настройка таких систем является весьма актуальной задачей.

Данная работа посвящена анализу и синтезу интервальных систем, в которых колебательность ограничена допустимым значением и продиктована расположением доминирующего полюса системы на отрицательной действительной части комплексной оси, а остальные (свободные) полюсы удалены на достаточное расстояние от доминирующего полюса.

Таким образом, основной целью работы является разработка методики синтеза линейного ПИД-регулятора для интервальных систем низкого порядка, обеспечивающего в системе гарантированную динамику.

1. Методы синтеза регулятора

В настоящее время существует множество методов синтеза систем автоматического регулирования [2, 3, 4, 5, 6]. Основная часть из них связана с линейными одноканальными системами. Меньшее количество работ связано с многоканальными методами, используемые при синтезе систем управления. В большинстве случаев при синтезе усложняю закон управления, однако, чем проще закон управления, тем проще изготовление регулятора, тем меньше его стоимость и выше надежность эксплуатации системы. Скорее всего этими же принципами руководствовались разработчики промышленных систем автоматического управления при внедрении в инженерную практику ПИ-, ПИД- и другого вида простых регуляторов. Таким образом, создание регулярной процедуры синтеза систем с регулятором пониженного порядка является достаточно актуальной задачей.

1.1. Синтез регуляторов полного порядка

Основная масса работ посвящена синтезу регуляторов полного порядка для одноканальных систем, существует тенденция к разработке методов синтеза для многоканальных систем или же перенос методов и правил синтеза регуляторов, применяемых для одноканальных систем, на многоканальные.

Для одноканальных систем в основном применяются следующие методы синтеза:

- модальный метод синтеза в пространстве состояний с наблюдателем полного или пониженного порядка [9];
- модальный метод синтеза с использованием полиномиального представления [10];
- метод локализации [11];
- частотный метод синтеза [9].

Несмотря на то, что частотные методы синтеза более привычны для инженеров, в отечественной литературе не так много опубликовано работ по этому направлению. В то же время в течение двух последних десятилетий частотный подход при анализе и синтезе систем автоматического управления является центральным в западной литературе. Частотный метод разработан в основном для одноканальных объектов и годится лишь для устойчивых или минимальнофазовых систем. В настоящее время производятся попытки применения частотного метода для двухканальных систем.

Перечисленные выше методы также можно применять и для анализа и синтеза многоканальных систем управления, например, модальный метод синтеза с использованием полиномиальных матриц [12], модальный метод синтеза в пространстве состояний [13] и ряд других работ, рассматривающих различные примеры синтеза многоканальных систем.

В однолинейных системах при синтезе регулятора часто в регулятор вводят элементы, которые частично или полностью сокращаются с регулируемым объектом.

1.2. Синтез регуляторов пониженного порядка

В настоящее время при синтезе систем управления идут по пути усложнения закона управления, а, следовательно, и самого регулятора. Самым важным преимуществом такого решения является желаемое расположение каждого полюса регулируемой системы. Однако на качество переходных процессов в системе влияет расположение корней в определенной заданной области. И если ограничиваться только желаемой областью, то задачу анализа и синтеза можно решить с помощью регулятора меньшей степени или с меньшим числом параметров [10], иначе говоря, с помощью регулятора пониженного порядка.

В теории автоматического регулирования при синтезе регуляторов пониженного порядка в общем случае точного решения не существует. Это связано с недостаточным количеством параметров регулятора для точного

назначения корней характеристического полинома замкнутой системы. В этом случае данная задача может решаться с помощью различных численных процедур.

Например, оптимизационный сдвиг корней замкнутой системы в желаемую область в пространстве осуществлять, изменяя параметры регулятора [14].

Однако практическая реализация вычислительного процесса затруднена, поскольку корни могут быть как действительными, так и комплексными, так что реальное соотнесение метрических пространств коэффициентов и корней осуществимо только в объемлющих n -мерных комплексных пространствах. В работе [15] представлены совмещенные декартовы координаты как для действительных, так и для комплексно-сопряженных пар корней, позволяющие ограничиться n -мерными действительными пространствами, что упрощает оптимизационную процедуру анализа и синтеза регулятора пониженного порядка.

Также существует подход к синтезу, предложенный Неймарком и основанный на выделении областей устойчивости системы в пространстве параметров, который получил название метод D -разбиения. Данный метод позволяет не только оценивать устойчивость системы, но и проводить синтез. Однако он имеет один существенный недостаток, связанный с ограничением, накладываемым на количество настраиваемых параметров регулятора (их максимальное число не может превышать двух).

Задача анализа и синтеза регуляторов пониженного порядка также может решаться следующими несколькими способами, а именно:

- по квадратичному критерию при ограничениях на норму передаточной функции замкнутой системы [11];
- использованием свойств нормы некоторой верхней оценки разности собственных значений путем оптимизации некоторого функционала [12];
- посредством использования некоторых взвешивающих функций, минимизируются сингулярные значения оператора замкнутой системы [16];

- с помощью интерполяционных методов так, чтобы частотная характеристика проектируемой системы[17] или ее переходная характеристика [18] имела наперед заданные значения на заданном наборе частот или временных отсчетов;

- с помощью оптимизационного алгоритма с использованием свойств кривизны и области расположения корней производного (интегрального) полинома [9].

В [9] представлены градиентный метод, метод производных, метод положительной кривизны, а также метод линеаризации, основанный на достаточном условии устойчивости.

Суть градиентного метода заключается в последовательном перемещении полюсов системы в желаемую область с помощью вычисления матрицы производных значений полюсов по параметрам регулятора. Такое перемещение удобно интерпретировать введением критериальной функции, которая сходится к желаемой области. Отрицательной чертой данного метода является трудоемкость вычисления частных производных, не смотря на это, метод носит общий характер и может быть использован не только для стабилизации объекта управления, а также и для сопутствующих задач.

Метод производных использует новые условия Гурвица характеристического полинома системы и позволяет изначально определить «центр» расположения полюсов системы. К сожалению, данный метод не до конца проработан применительно к анализу и синтезу регуляторов пониженного порядка для многоканального случая.

Метод линеаризации основан на достаточном условии устойчивости [19]:

$$c_{i-1}c_{i+2} < \lambda c_i c_{i+1}, \quad i = \overline{1, d-2}, \quad (1)$$

где $\lambda = 0,465$; c_i – коэффициенты характеристического полинома системы, а

d – степень характеристического полинома системы. Для задач синтеза многоканальных систем данный алгоритм применим в случае, если желаемая матрица «знаменателя» замкнутой системы имеет диагональный или треугольный вид. Так как в этом характеристический полином определяется как произведение элементов стоящих на главной диагонали. К сожалению, данный метод носит достаточный характер, но по сравнению с методом частных производных он довольно прост и хорошо формализуется даже для многоканального случая.

К сожалению, рассмотренные методы не дают априорных рекомендаций о выборе степени или структуры регулятора, но, тем не менее, комбинацией предложенных методов можно сравнительно быстро синтезировать регулятор пониженного порядка.

2. Системы управления с интервальными параметрами

При анализе и синтезе систем с интервальными параметрами основными задачами является не только сохранение устойчивости, но и обеспечение желаемого качества управления при любых значениях интервальных параметров.

По своей сути, САУ с интервальными параметрами представляет собой семейство САУ с постоянными параметрами. Таким образом, к робастным системам применимы те же средства описания: пространство состояний, описание в матричной форме, передаточные функции и характеристические полиномы. Очевидно, что коэффициенты передаточной функции интервальной системы, а значит и коэффициенты ее характеристического полинома, зависят от интервальных параметров.

2.1. Интервалы и интервальная арифметика

Интервалом называется область значений какого-либо параметра системы, ограниченная с двух сторон. Письменно интервал обычно обозначается буквой латинского алфавита, заключенной в квадратные

скобки; верхняя и нижняя границы интервала обозначаются той же буквой с чертой над или под ней соответственно:

$$[x] = [\underline{x}; \bar{x}]$$

Совокупность операций, проводимых над интервалами, называется интервальным анализом. Интервальный анализ является развитием теории множеств и позволяет выполнять основные арифметические операции над интервалами, операции над интервальными матрицами; позволяет вычислять значение трансцендентных функций от интервалов и прочее [7].

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

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

То есть нижняя граница суммы двух интервалов равна сумме нижних границ слагаемых; верхняя граница суммы двух интервалов равна сумме верхних границ слагаемых.

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

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

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

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

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

То есть нижняя граница произведения двух интервалов равна минимальному из произведений границ множителей; верхняя граница произведения двух интервалов равна максимальному из произведений границ множителей.

Деление интервалов $[x]$ и $[y]$ выполняется как умножение делимого на интервал, обратный делителю. Вычисление обратного интервала, в свою очередь, выполняется по следующему правилу:

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

2.2. Интервальные характеристические полиномы

Интервальный характеристический полином (ИХП) – знаменатель передаточной функции робастной САУ; характеристический полином, коэффициенты которого каким-либо образом зависят от интервальных параметров системы.

В зависимости от того, как именно коэффициенты ИХП зависят от интервальных параметров, различают несколько видов неопределенностей: интервальную, аффинную или полиномиальную.

Наиболее простой тип неопределенности – *интервальная неопределенность*. Например, интервальный полином задается следующим образом:

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

Здесь интервальными параметрами являются сами коэффициенты полинома. Такое встречается довольно редко, так как обычно коэффициенты полиномов абстрактны и не имеют физического смысла.

Аффинная неопределенность – один из способов учесть влияние нескольких интервальных параметров на каждый из коэффициентов полинома. Аффинное семейство полиномов задается следующим образом:

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

Здесь имеется l интервальных параметров q ; каждый из интервальных параметров входит в полином в первой степени, таким образом, коэффициенты полинома при s представляет собой линейную комбинацию интервальных параметров.

Полилинейная или *мультилинейная* неопределенность предполагает, что коэффициенты ИХП представляют собой полиномы первой степени относительно одного из интервальных параметров при замене прочих интервальных параметров константами. От аффинной неопределенности отличается тем, что допускается зависимость ИХП еще и от произведений интервальных параметров.

Наиболее сложный для анализа, *полиномиальный тип неопределенности* подразумевает нелинейную зависимость коэффициентов полинома от интервальных параметров.

Исходя из определения основных видов неопределенностей, можно сделать вывод, что любую неопределенность – аффинную, полиномиальную или более сложную – можно при помощи правил интервальной арифметики свести к интервальной неопределенности.

В данной работе рассматривается интервальный тип неопределенности, к которому на основании законов интервальной арифметики может быть сведен любой более сложный тип неопределенности. Переход к ней возможен на основании правил интервальной математики [8]. С этой точки зрения наиболее простой является интервальная неопределенность, здесь необходимо иметь в виду, что при таком упрощении создается область переограничения, и показатели качества синтезируемой интервальной системы могут немного отличаться от

действительных показателей качества системы с более сложным типом неопределенности.

В настоящее время много внимания уделяется ИСАУ. При интервальной неопределенности существует проблема усиления настроек регуляторов при их расчете на наиболее неблагоприятные режимы работы САУ ТП. Одним из путей ее решения может быть обеспечение в САУ гарантированного запаса устойчивости, при функционировании в наихудшем режиме.

2.3. Отображение многогранника коэффициентов ИХП на корневую плоскость

Пусть режим работы некоторой САУ определяется значениями n интервальных параметров. В таком случае, можно сказать, что система существует в n -мерном пространстве своих параметров, а совокупность всех возможных режимов работы системы ограничивается некоторой фигурой в этом пространстве – параметрическим многогранником.

Для наглядности рассмотрим простой пример: САУ второго порядка с передаточной функцией вида:

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

Очевидно, что режим работы данной системы полностью определяется совокупностью значений трех интервальных параметров: $[a_2]$, $[a_1]$ и $[a_0]$. Можно сказать, что совокупность возможных режимов работы системы ограничивается кубом в трехмерном пространстве перечисленных параметров.

Очевидно, что внутри этого параметрического многогранника можно выделить вершины и ребра.

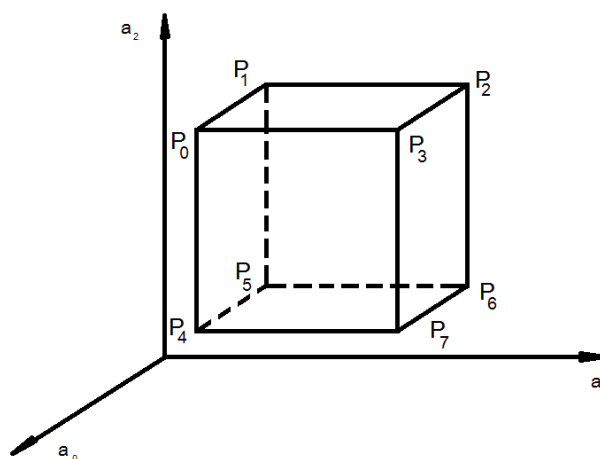


Рисунок 1 – Параметрический многогранник гипотетической системы второго порядка

Очевидно, что координаты каждой вершины параметрического многогранника представляют собой совокупность крайних значений интервалов. Например, вершина P_0 имеет в пространстве параметров системы координаты $[\overline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$; вершина P_1 – координаты $[\underline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$. Очевидно при этом, что ребро P_1P_0 соответствует изменению параметра a_0 от его нижней границы $\underline{a_0}$ до верхней границы $\overline{a_0}$. Стоит отметить, что число ребер параметрического многогранника системы с интервальной неопределенностью определяется выражением:

$$N = m \cdot 2^{m-1},$$

здесь N – число ребер параметрического многогранника, m – число интервальных параметров. Действительно, если в системе два интервальных параметра, то параметрический многогранник системы вырождается в квадрат с $N = 2 \cdot 2^{2-1} = 4$ ребрами; при трех интервальных параметрах – куб с $N = 3 \cdot 2^{3-1} = 12$ ребрами.

Каждая точка внутри описанного параметрического многогранника определяет своими координатами набор значений интервальных коэффициентов характеристического уравнения системы. Корни характеристического уравнения в каждом из возможных режимов, представляют собой портрет расположения областей их локализации,

называемый многопараметрическим интервальным корневым годографом (МИКГ).

Пусть интервальные коэффициенты передаточной функции (2) заданы следующим образом:

$$a_0 = [2;5]; a_1 = [3;6]; a_2 = [2;6],$$

тогда МИКГ будет иметь следующий вид.

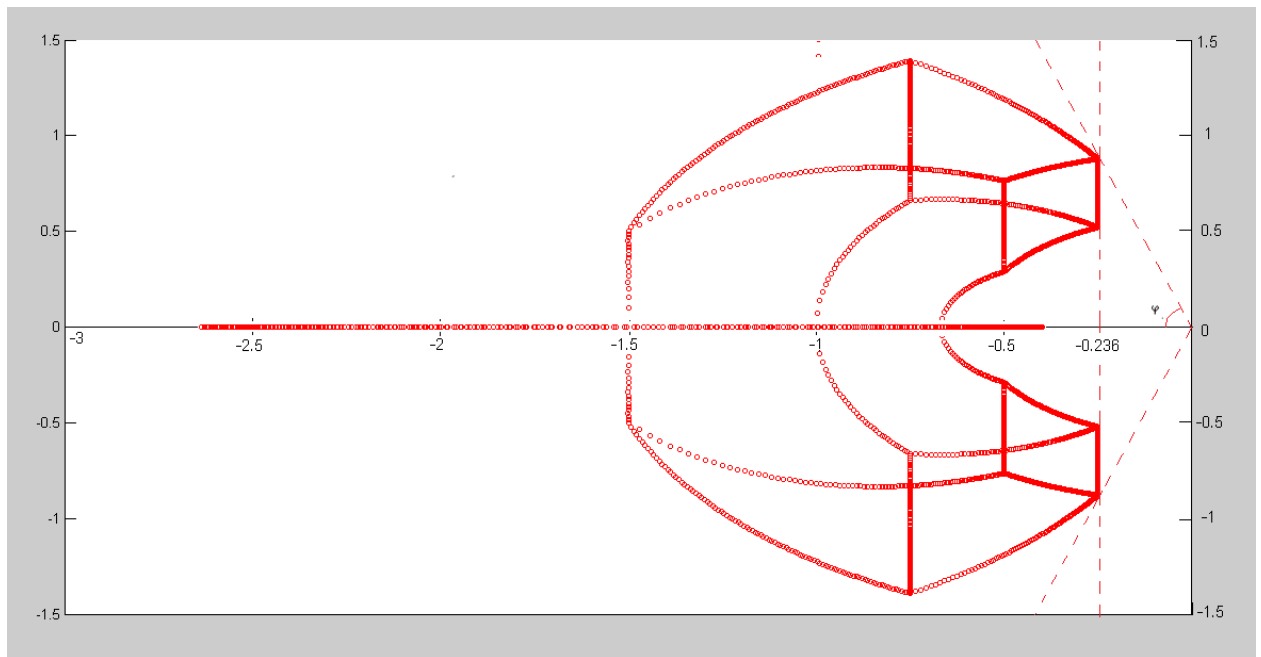


Рисунок 2 – Многопараметрический интервальный корневой годограф произвольной системы второго порядка

Данный годограф позволяет с легкостью определить степень робастной устойчивости системы и робастную колебательность системы. В данном случае степень робастной устойчивости, определяется расположением ближайшего к мнимой оси корня или пары комплексно-сопряженных корней $\eta=0,236$. Робастная колебательность, определяется как тангенс угла φ (рисунок 11), $\mu=3,729$.

3. Постановка задачи

Известно, что система сколь угодно высокого порядка может быть эквивалентирована системой второго, либо третьего порядка, выходные сигналы которых в целом будут содержать всю необходимую информацию о

динамических свойствах системы высокого порядка[20]. Это связано с тем, что системы высокого порядка часто содержат полюса, приносящие незначительный эффект в переходную характеристику замкнутой системы. В этой связи проблема синтеза систем низкого порядка является актуальной и настройке параметров регулятора таких систем по различным критериям посвящен ряд работ [21, 22]

Существует большой класс САУ, в которых переходные процессы должны быть аperiodическими или близкими к ним, рисунок 3. Переходные процессы в таких системах должны быть монотонными и не иметь перерегулирования при начальном отклонении и нулевых начальных условиях. К таким системам относятся прокатные станы, бумагоделательные машины, антенные установки и т.д.

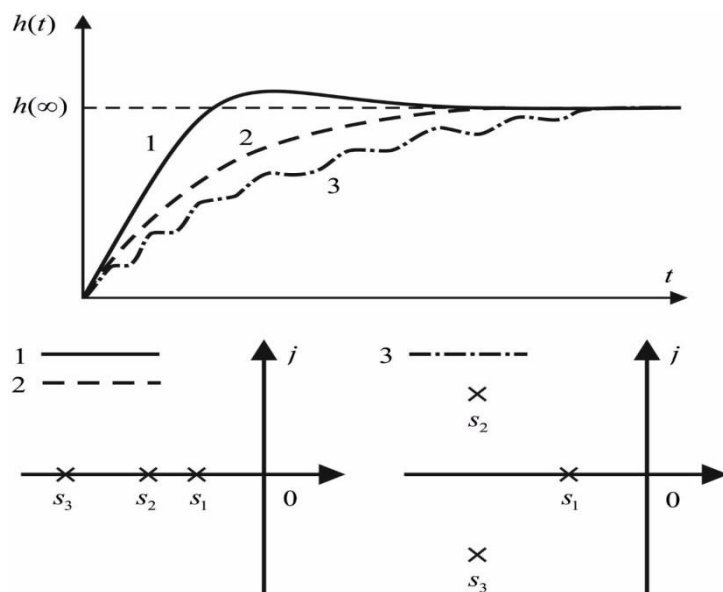


Рисунок 3 – Типы аperiodических переходных характеристик

Условием аperiodических переходных процессов для стационарной системы является такое расположение полюсов, при котором ближайшим к мнимой оси является вещественный полюс и выполняется условие его доминирования по отношению ко всем остальным свободным полюсам, т.е. область локализации свободных полюсов удалена на достаточное расстояние $\gamma = [\eta, \alpha]$, которое определяется расстоянием от вещественного полюса α до

правой границы области Γ локализации свободных полюсов, как показано на рисунке 4[23].

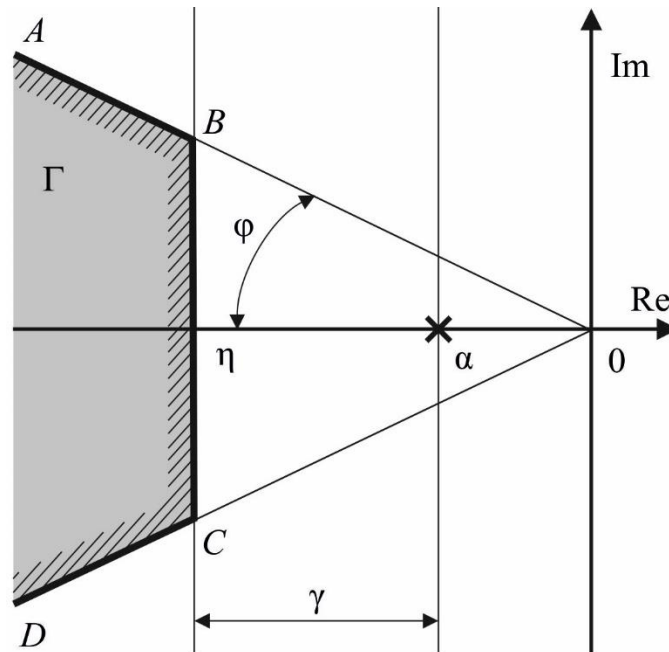


Рисунок 4 – Расположение доминирующего и свободных полюсов стационарной системы

В интервальной системе корни ИХП мигрируют по комплексной плоскости и образуют области их локализации. Доминирующий вещественный корень, обеспечивающий апериодический переходный процесс, тоже мигрирует, но в отрезке, расположенном на действительной оси (рисунок 5). При этом необходимо, чтобы мигрирующий в отрезке вещественный полюс оставался доминирующим при любых значениях интервальных параметров ИСАУ, а все остальные свободные полюсы располагались в усеченном секторе Γ на определенном расстоянии γ^* от отрезка $[\alpha_1, \alpha_2]$ [24].

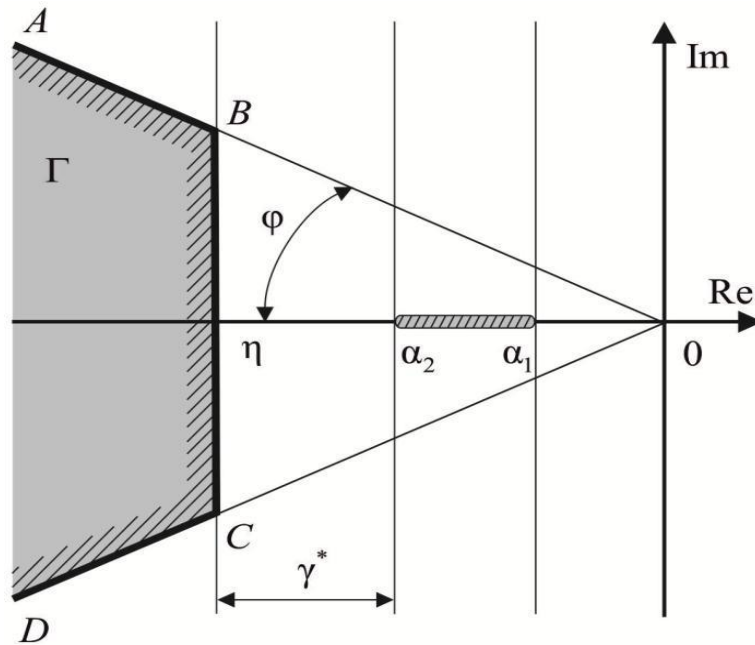


Рисунок 5 – Область локализации доминирующего и свободных полюсов интервальной системы

Очевидно, что по границам области локализации можно находить корневые показатели качества: степень робастной устойчивости и степень робастной колебательности. Степень робастной устойчивости определяется минимальным расстоянием от мнимой оси до ближайшей границы области локализации полюсов. Степень робастной колебательности определяется минимальным углом, в котором располагаются все области локализации полюсов ИСАУ.

Степень робастного доминирования вещественного полюса, определяется расстоянием $\gamma^* = [\eta, \alpha_2]$.

Заметим, что значение α_1 характеризует минимальную степень устойчивости ИСАУ. Область Γ представляет собой усеченную трапецию $ABCD$, ограниченную вертикальной прямой, проходящей через $(-\eta; j0)$ и двумя лучами, выходящими из начала координат под углом $\pm\varphi$, который определяет степень максимальной (робастной) колебательности системы.

3.1. Обеспечение доминирования вещественного полюса стационарной системы

Пусть структурная схема САУ имеет вид, показанный на рисунке 6. ОУ описывается передаточной функцией

$$W_{OY}(s) = \frac{k_y}{c_2 s^2 + c_1 s + c_0}, \quad (4)$$

где k_y – коэффициент усиления системы;

c_i – коэффициенты объекта управления соответственно.

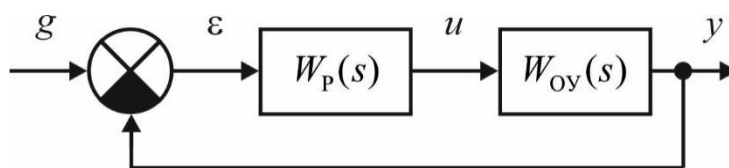


Рисунок 6 – Структурная схема САУ

Передаточная функция линейного ПИ-регулятора описывается:

$$W_p(s) = \frac{k_1 s + k_0}{s} \quad (5)$$

где k_0 и k_1 – настраиваемые параметры регулятора.

ХП замкнутой САУ имеет вид:

$$A(s) = \sum_{i=0}^f a_i(\vec{k}, k_y, \vec{c}) s^i, \quad (6)$$

где k_y – коэффициент усиления системы, $\vec{c}$ – вектор значений коэффициентов полиномов $C(s)$, $\vec{k}$ – вектор настраиваемых параметров регулятора, линейно входящих в коэффициенты полинома (5), a_i – коэффициенты полинома (6), являющиеся функциями $\vec{k}$, k_y , $\vec{c}$.

Необходимо найти настроечные параметры ПИ-регулятора, которые обеспечивают расположение доминирующего вещественного полюса α на действительной оси, в заданной точке комплексной плоскости, а свободные полюсы – в области Γ и обеспечивали бы в системе желаемое доминирование $\gamma = [\eta, \alpha]$ как показано на рисунке 4.

3.1.1. Разделение характеристического полинома на доминирующий и свободный

На первом этапе синтеза необходимо сформировать доминирующий полином, который предписывает расположение доминирующего вещественного полюса и обеспечивает минимальную степень устойчивости системы, он имеет вид

$$Q(s) = s + \alpha. \quad (7)$$

Все коэффициенты полинома (6) связаны между собой, следовательно свободные корни зависят от доминирующих. Следует выделить доминирующий полином $Q(s)$ из полинома (6), путем его деления на полином (7). При этом получается свободный полином вида

$$P(s) = p_2 s^2 + p_1 s + p_0, p_i > 0, \quad (8)$$

его корни являются свободными полюсами системы, которые необходимо расположить в усеченном секторе Γ .

Для получения $P(s)$ предлагается использовать алгоритм деления столбиком. В результате деления получится остаток R . Таким образом, исходный полином (6) можно представить в виде

$$A(s) = Q(s)P(s) + R. \quad (9)$$

Заметим, что для независимого расположения доминирующего и свободных полюсов остаток R приравниваем к нулю.

Коэффициенты свободного полинома $P(s)$ и остатка R определяются выражениями:

$$p_i = a_{i+1} - \alpha \cdot p_{i+1}, i = \overline{0, n-1}; \quad (10)$$

$$R = a_0 - \alpha p_0, \quad (11)$$

где n – степень характеристического полинома замкнутой системы.

3.1.2. Обеспечение доминирования вещественного полюса стационарной САУ

С помощью выражений для свободного полинома $P(s)$ и остатка от деления R можно расположить свободные полюсы желаемым образом.

Пусть характеристический полином замкнутой системы имеет порядок $n=3$, тогда свободный полином имеет второй порядок. В его коэффициенты входят параметры регулятора и коэффициенты передаточной функции объекта управления. Используя известное выражение для определения корней уравнения второго порядка, получены условия, гарантирующие желаемое расположение свободных полюсов на комплексной оси (действительные или комплексно-сопряженные).

Пусть корни свободного полинома $P(s)$ определяются выражением

$$s_{1,2} = \frac{-p_1 \pm \sqrt{p_1^2 - 4p_0p_2}}{2p_2} \quad (12)$$

На основании (12) могут быть сформулированы условия расположения свободных полюсов системы левее границы η (рисунок 4), для двух случаев: полюсы вещественные и полюсы комплексно-сопряженные. Таким образом, на основании решения квадратного уравнения для полинома (8) могут быть получены следующие соотношения:

а) свободные полюсы комплексно-сопряженные:

$$p_1^2 - 4p_0p_2 < 0$$

$$\operatorname{Re} s_{1,2} = -\frac{p_1}{2p_2} < -\eta \Rightarrow \frac{p_1}{2p_2} > \eta \Rightarrow p_1 > 2\eta p_2$$

б) свободные полюсы вещественные:

$$p_1^2 - 4p_0p_2 > 0$$

$$s = \frac{-p_1 + \sqrt{p_1^2 - 4p_0p_2}}{2p_2} \leq -\eta \Rightarrow -p_1 + \sqrt{p_1^2 - 4p_0p_2} \leq -2\eta p_2 \Rightarrow$$

$$\sqrt{p_1^2 - 4p_0p_2} \leq p_1 - 2\eta p_2 \Rightarrow p_1^2 - 4p_0p_2 \leq (p_1 - 2\eta p_2)^2 \Rightarrow$$

$$-4p_0p_2 \leq 4\eta p_1p_2 + 4\eta^2 p_2^2 \Rightarrow -p_0p_2 \leq -\eta p_1p_2 + \eta^2 p_2^2 \Rightarrow p_0 \geq \eta p_1 - \eta^2 p_2$$

Таким образом, задача расположения свободных полюсов системы сводится к решению двух систем неравенств: для случая комплексно-сопряженных полюсов

$$\begin{cases} p_1^2 - 4p_0p_2 > 0; \\ \frac{-p_1 - \sqrt{p_1^2 - 4p_0p_2}}{2p_2} \leq -\eta, \end{cases} \quad (13)$$

для случая вещественных полюсов

$$\begin{cases} p_1^2 - 4p_0p_2 < 0; \\ -\frac{p_1}{2p_2} < -\eta, \end{cases} \quad (14)$$

Преобразовывая выражения (13), (14) получены аналитические соотношения для расположения свободных полюсов системы на вещественной оси

$$\begin{cases} p_1^2 - 4p_0p_2 > 0; \\ p_0 \geq \eta p_1 - \eta^2 p_2, \end{cases} \quad (15)$$

и для случая комплексно-сопряженных полюсов

$$\begin{cases} p_1^2 - 4p_0p_2 < 0; \\ p_1 > 2\eta^2 p_2. \end{cases} \quad (16)$$

Коэффициенты свободного полинома для системы представленной на рисунке 6, показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты свободного полинома $P(s)$ для характеристического полинома степени $n=3$

p_i	Коэффициенты полинома $P(s)$
p_2	$a_3 = c_2$
p_1	$a_2 - \alpha p_2 = c_1 - \alpha c_2$
p_0	$a_1 - \alpha p_1 = c_0 - \alpha(c_1 - \alpha c_2) + k_y k_1$

Для заданного расположения доминирующего корня $s = -\alpha$ на комплексной плоскости необходимо обеспечить равенство нулю остатка R , который имеет вид

$$k_y k_0 - \alpha(c_0 - \alpha(c_1 - \alpha c_2) + k_y k_1) = 0 \quad (17)$$

Из (16) получим

$$k_0(k_1) = \frac{\alpha(c_0 - \alpha(c_1 - \alpha c_2) + k_y k_1)}{k_y} \quad (18)$$

Подставляя в выражения (15) и (16) коэффициенты p_i свободного полинома, из таблицы 1, с учетом (18) получены условия для определения параметров регулятора, гарантирующих заданное расположение доминирующего полюса $s = -\alpha$ и расположение свободных полюсов левее границы η . Эти условия сформированы в виде таблицы 2.

Таблица 2– Условия для определения параметров регулятора

Вид свободных полюсов	Условия для параметров регулятора
Вещественные	$k_1 < \frac{(c_1 - \alpha c_2)^2 - 4c_2 c_0 + 4\alpha c_2 (c_1 - \alpha c_2)}{4k_y c_2}$ $k_1 > \frac{\alpha(c_1 - \alpha c_2) + \eta(c_1 - \alpha c_2) - \eta c_2 - c_0}{k_y}$
	$k_0(k_1) = \frac{\alpha(c_0 - \alpha(c_1 - \alpha c_2) + k_u k_1)}{k_y}$

Комплексно-сопряженные	$k_1 > \frac{(c_1 - \alpha c_2)^2 - 4c_2 c_0 + 4\alpha c_2 (c_1 - \alpha c_2)}{4k_y c_2}$
	$k_0(k_1) = \frac{\alpha(c_0 - \alpha(c_1 - \alpha c_2) + k_y k_1)}{k_y}$

В результате решения неравенств из таблицы 2 можно получить интервалы допустимых значений параметров ПИ-регулятора, внутри которых следует выбирать их искомые значения.

3.1.3. Методика синтеза ПИ-регулятора стационарной системы

1. На основании передаточной функции объекта управления и регулятора, а также заданных значений α и η формируется характеристический полином замкнутой системы $A(s)$ вида (6), доминирующий полином $Q(s)$ вида (7), свободный полином $P(s)$ вида (10) и остаток от деления R (11).

2. На основании α, η и коэффициентов передаточной функции объекта управления составляются неравенства (15) или (16).

3. Решаются неравенства из пункта 2 и определяется допустимый диапазон изменения параметра регулятора k_1 .

4. Выбирается значение коэффициента k_1 и на основании (18) находится значение параметра k_0 .

3.1.4. Числовой пример

Рассмотрим объект управления с передаточной функцией $W_{\text{об}}(s) = \frac{k_y}{c_2 s^2 + c_1 s + c_0}$ ($c_2 = 0,03, c_1 = 5, c_0 = 1, k_y = 3$). Необходимо определить настроечные параметры регулятора $W_p(s) = \frac{k_1 s + k_0}{s}$, обеспечивающие в системе расположение доминирующего вещественного полюса в точке $\alpha = 1$

комплексной плоскости и расположение свободных полюсов левее границы $\eta = 20$.

В соответствии с разработанной методикой сформирован характеристический полином замкнутой системы $0,03s^3 + 5s^2 + (k_y k_1 + 1)s + k_y k_0 = 0$, доминирующий полином $Q(s) = s + 1$, свободный полином $P(s, k_1) = 0,03s^2 + 4,97s + k_y k_1 - 3,97$ и остаток от деления $R(k_0, k_1) = k k_0 - k_y k_1 + 3,97$.

На основании пункта 2 методики получена зависимость

$$k_0(k_1) = \frac{\alpha(c_0 - \alpha(c_1 - \alpha c_2) + k_y k_1)}{k_y} = k_1 - 3,97 \quad (19)$$

Пусть корни свободного полинома необходимо расположить на вещественной оси. Подставляя в выражения (15), (16) коэффициенты передаточной функции объекта управления и заданные значения α и η , получим область допустимых значений коэффициента регулятора $k_1 \in (30,5; 69,9369)$. Из (19) при граничных значениях k_1 найдены соответствующие значения k_0 и корни характеристического полинома системы:

1. при $k_1 = 30,5$ находим $k_0 = 29,177$, $s_1 = -1$, $s_2 = -20,034$, $s_3 = -145,632$.
2. при $k_1 = 69,9369$ находим $k_0 = 68,614$, $s_1 = -1$, $s_2 = -82,763$, $s_3 = -28,456$

Заметим, что при выборе правой границы диапазона изменения параметра k_1 обеспечивается максимальная степень доминирования γ .

На рисунке 7 изображены переходные характеристики системы при различных значениях параметров регулятора. Так кривая 1 соответствует $k_0 = 29,177$, $k_1 = 30,5$, а кривая 2 – $k_0 = 68,614$, $k_1 = 69,9369$. Кривая 1 определяет следующие прямые показатели качества системы $t_p = 0,5c$, $\sigma = 4,48\%$; кривая 2 соответствует $t_p = 1c$, $\sigma = 4,76\%$.

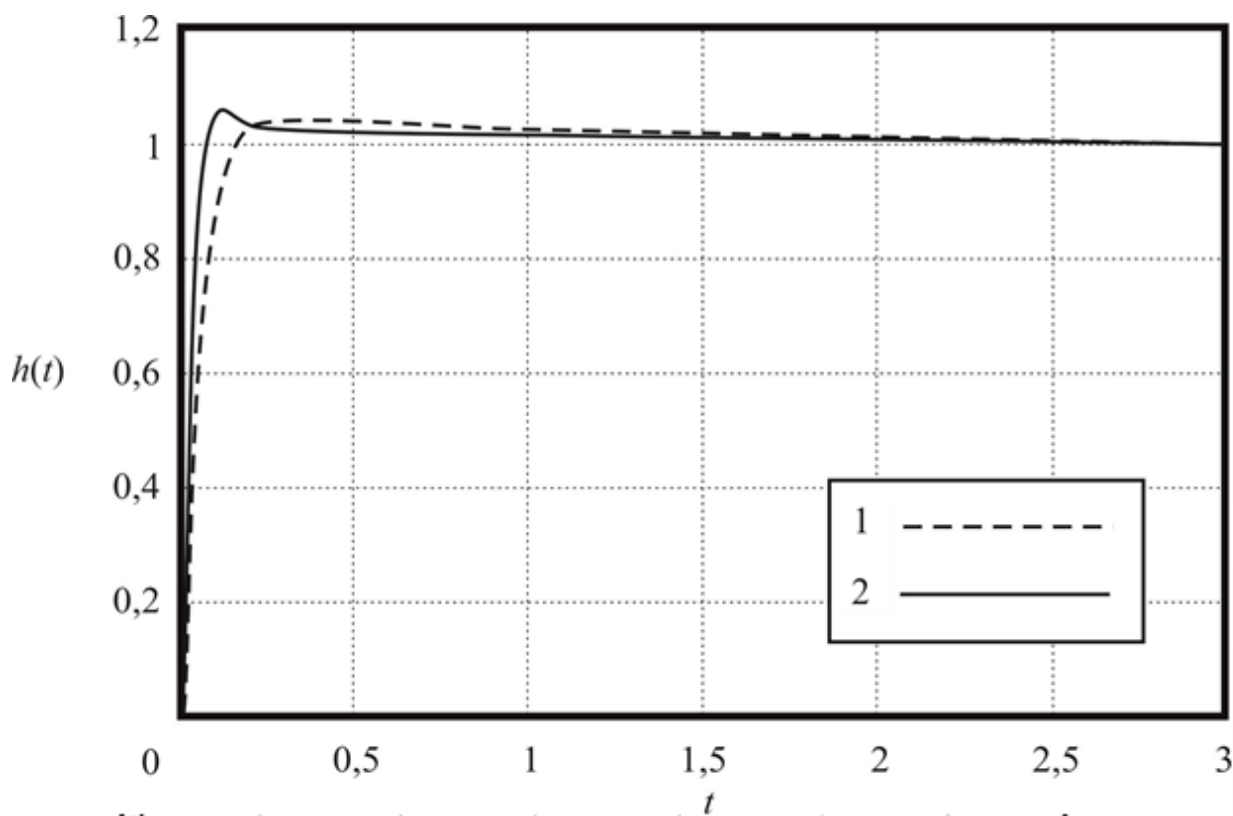


Рисунок 7 – Переходные характеристики системы (корни вещественные)

Теперь зададимся требованием, что корни свободного полинома должны быть комплексно-сопряженными. На основании выражений (15), (16) получена область допустимых значений коэффициента $k_1 \in (69,938; \infty)$, причем

1. при $k_1 = 69,938$ определяем $k_0 = 68,615$, $s_1 = -1$, $s_2 = -82,833 + 0,325j$, $s_3 = -82,833 - 0,325j$.
2. при $k_1 = 100$ определяем $k_0 = 98,677$, $s_1 = -1$, $s_2 = -82,833 + 54,83j$, $s_3 = -82,833 - 54,83j$.

Видно, что при выборе значения коэффициента k_1 на левой границе его допустимого интервала выполняется условие комплексно-сопряженности свободных корней, а при увеличении k_1 степень доминирования γ остается

прежней, но увеличивается степень колебательности системы.

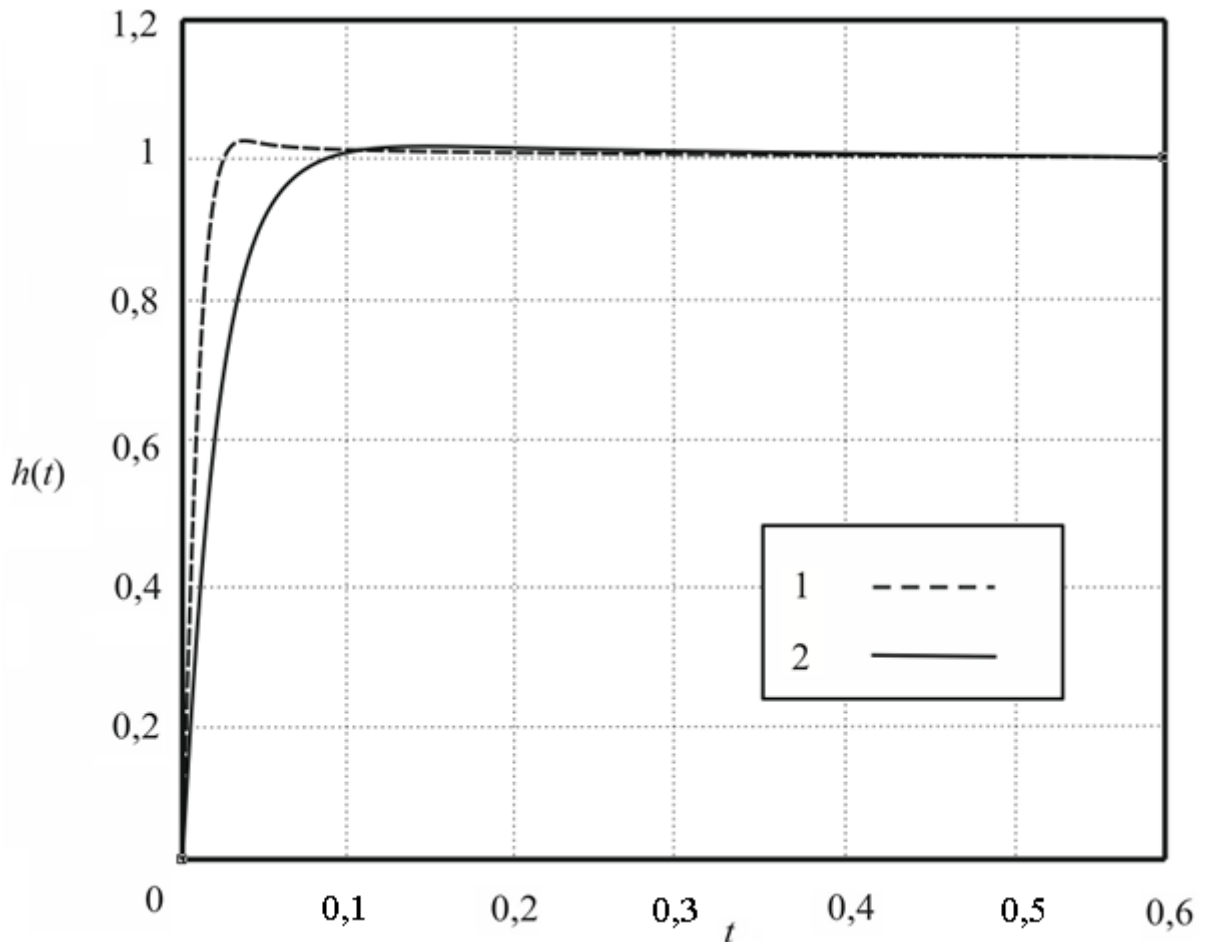


Рисунок 8– Переходные характеристики системы (корни комплексно-сопряженные)

Прямые показатели качества: для случая 1 – $t_p = 0,1c$, $\sigma = 4,4\%$; для случая 2 – $t_p = 0,5c$, $\sigma = 3,48\%$.

3.2. Обеспечение доминирующего отрезка вещественного полюса интервальной системы

На основании анализа результатов, полученных в п. 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4 был сделан вывод о возможности применения разработанной методики для класса интервальных систем низкого порядка. Также анализ показал, что полученные соотношения могут быть переформулированы для класса интервальных систем на основании правил интервальной арифметики. Необходимо заметить, что поскольку методика направлена на обеспечение желаемых корневых показателей качества в наихудшем режиме

функционирования системы, то и все условия формируются на основании минимума рассматриваемой функции.

В интервальной системе полюса на комплексной плоскости имеют свою область локализации. Интервальный доминирующий полюс в этом случае задается интервально в виде отрезка, ограниченного с двух сторон координатами (рисунок 5) $Q_1(s) = s + \alpha_1$ и $Q_2(s) = s + \alpha_2$.

Пусть дана интервальная система (рисунок 14), в которой имеется ОУ и ПИД– регулятор. ПФ ОУ (4) имеет интервальную неопределенность, а ПФ ПИД–регулятора описана $W_p(s) = \frac{k_2 s^2 + k_1 s + k_0}{s}$, где k_0, k_1 и k_2 – настраиваемые параметры регулятора.

Для синтеза системы с интервальной неопределенностью параметров использование ПИ-регулятора не позволяет расположить все полюсы замкнутой системы желаемым образом в заданных областях комплексной плоскости. Проведенный анализ показал, что наилучшим образом для этих целей подходит ПИД–регулятор, так как он позволяет зафиксировать границы доминирующего полюса на действительной оси и желаемым образом расположить оставшиеся свободные полюса замкнутой системы.

3.2.1. Разделение интервального характеристического полинома на доминирующий и свободный

Интервальный доминирующий полином определяется выражением

$$Q^*(s) = s + [\alpha], \alpha_1 > 0, \alpha_1 > \alpha > \alpha_2 \quad (20)$$

На основании таблицы 3 определяется выражение для интервального свободного полинома $P^*(s)$

$$P^*(s) = [p_2]s^2 + [p_1]s + [p_0], [p_i] > 0, \underline{p_i} < p_i < \overline{p_i}. \quad (21)$$

Остаток $R^*(s)$ в случае интервальной неопределенности коэффициентов характеристического полинома $A^*(s)$ имеет вид

$$\begin{cases} R_1(\vec{k}, \underline{k}_y, \vec{c}) = a_0(\vec{k}, \underline{k}_y, \vec{c}) - \alpha_1 p_0(\vec{k}, \underline{k}_y, \vec{c}) = 0; \\ R_2(\vec{k}, \overline{k}_y, \vec{c}) = a_0(\vec{k}, \overline{k}_y, \vec{c}) - \alpha_2 p_0(\vec{k}, \overline{k}_y, \vec{c}) = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Таблица 4 – Коэффициенты интервального свободного полинома $P(s)$ для интервального характеристического полинома степени $n = 3$

$[p_i]$	Коэффициенты полинома $P^*(s)$
$\frac{\underline{p}_2}{\overline{p}_2}$	$\frac{\underline{a}_3}{\overline{a}_3} = \frac{\underline{c}_2}{\overline{c}_2}$
$\frac{\underline{p}_1}{\overline{p}_1}$	$\frac{\underline{a}_2 - \alpha_2 \underline{p}_2}{\overline{a}_2 - \alpha_1 \underline{p}_2} = \frac{\underline{c}_1 + \underline{k}_y \underline{k}_2 - \alpha_2 \underline{c}_2}{\overline{c}_1 + \overline{k}_y \underline{k}_2 - \alpha_2 \underline{c}_2}$
$\frac{\underline{p}_0}{\overline{p}_0}$	$\frac{\underline{a}_1 - \alpha_2 \underline{p}_1}{\overline{a}_1 - \alpha_1 \underline{p}_1} = \frac{\underline{c}_0 + \underline{k}_y \underline{k}_1 - \alpha_2 (\underline{c}_1 + \underline{k}_y \underline{k}_2 - \alpha_2 \underline{c}_2)}{\overline{c}_0 + \overline{k}_y \underline{k}_1 - \alpha_1 (\underline{c}_1 + \underline{k}_y \underline{k}_2 - \alpha_1 \underline{c}_2)}$

При этом из [9] известно, что вершины с координатами $V_1(\underline{a}_0 \overline{a}_1 \underline{a}_2 \overline{a}_3 \dots)$ и $V_2(\overline{a}_0 \underline{a}_1 \overline{a}_2 \underline{a}_3 \dots)$ задают соответственно правую α_1 и левую α_2 границы миграции вещественного корня.

3.2.2. Основные соотношения для выбора параметров регулятора интервальной системы низкого порядка

На основании формул (15) и (16) определяются условия расположения свободных полюсов ИСАУ левее границы η (рисунок 5).

для вещественных полюсов

$$\begin{cases} \underline{p}_1^2(\underline{k}_y) - 4 \overline{p}_0(\underline{k}_y) \overline{p}_2(\underline{k}_y) > 0; \\ \underline{p}_0(\underline{k}_y) \geq \eta \overline{p}_1(\underline{k}_y) - \eta^2 \underline{p}_2(\underline{k}_y), \end{cases} \quad (23)$$

и для комплексно-сопряженных полюсов

$$\begin{cases} \overline{p_1^2(k)} - 4\overline{p_0(k)p_2(k)} < 0; \\ \overline{p_1(k)} \geq 2\eta\overline{p_2(k)}. \end{cases} \quad (24)$$

Из условия $R^* = 0$ формируется система уравнений вида

$$\begin{cases} R_1(\overline{k}) = \overline{a_0(k)} - \alpha_1\overline{p_0(k)} = 0; \\ R_2(\overline{k}) = \overline{a_0(k)} - \alpha_2\overline{p_0(k)} = 0. \end{cases} \quad (25)$$

На основании уравнений (24) выражается параметр k_0 , затем приравнявая полученные выражения определяется зависимость $k_2(k_1)$

$$k_2(k_1) = \frac{\alpha_1 \left[\left(\overline{c_0} - \alpha_1 \left(\overline{c_1} - \overline{c_2} \alpha_1 \right) + \overline{k_y} k_1 \right) \right]}{\overline{k_y}} - \frac{\alpha_2 \left[\left(\overline{c_0} - \alpha_2 \left(\overline{c_1} - \overline{c_2} \alpha_2 \right) + \overline{k_y} k_1 \right) \right]}{\overline{k_y}} \quad (26)$$

Подставляя (26) в условия для расположения свободных полюсов ИСАУ (23), (24) находятся параметры регулятора k_1 , затем k_2 и k_0 .

3.2.3. Методика синтеза ПИД-регулятора интервальной системы

1. На основании ПФ интервальной системы и регулятора, а также заданных значений $[\alpha] = [\alpha_1, \alpha_2]$ формируется интервальный характеристический полином $A^*(s)$, интервальный доминирующий полином $Q^*(s)$ вида (28), интервальный свободный полином $P^*(s)$ вида (21) с коэффициентами $[p_i]$ (таблица 3) и интервальный остаток от деления R^* (22).

2. На основании выражения (25) определяется зависимость $k_2(k_1)$

3. На основании заданного интервала $[\alpha]$, значения η и коэффициентов интервального свободного полинома формируются неравенства (23) или (24).

4. Решаются неравенства из пункта 3 и определяется допустимый диапазон изменения параметра регулятора k_1 .

5. Выбирается значение коэффициента k_1 и на основании (26) находится значение параметра k_0 и k_2

3.2.4. Числовой пример

Рассмотрим объект управления с передаточной функцией

$$W_{\text{oy}}(s) = \frac{k_y}{c_2 s^2 + c_1 s + c_0} \quad (c_2 = [0,03;0,05], c_1 = [5;7], c_0 = [1;3], k_y = [2,7;3,3]).$$

Необходимо определить настройки регулятора $W_p(s) = \frac{k_2 s^2 + k_1 s + k_0}{s}$, обеспечивающие в системе доминирующий вещественный полюс в интервале $[\alpha] = [1;5]$ и расположение свободных полюсов левее $\eta = 4$.

В соответствии с разработанной методикой составлен интервальный характеристический полином системы $[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0$, где $a_0(k_0) = [2,7;3,7]k_0$, $[a_1(k_1)] = [1;3] + [2,7;3,7]k_0$, $[a_2(k_2)] = [5;7] + [2,7;3,7]k_2$, $[a_3] = [0,03;0,05]$. При этом доминирующий полином $Q^*(s) = s + [1;5]$, интервальный свободный полином

$$P^*(s, k_1, k_2) = [0,03;0,05]s^2 + [4,925;6,97] + [2,7;3,7]k_2 + [-9,455;-1,925] + [2,7;3,7]k_1 - [2,7;3,7]k_2$$

и интервальный остаток

$$R^*(k_0, k_1) = [2,7;3,7]k_0 - ([1;5][1;3] + [2,7;3,7]k_1) - [1;5][5;7] + ([2,7;3,7]k_2 - [1;5][0,03;0,05])$$

На основании пункта 2 методики получена зависимость (26)

$$k_2(k_1) = 0,4k_1 - 0,163 \quad (27)$$

Пусть корни свободного полинома являются комплексно-сопряженными. Подставляя в выражения (23), (24) получена область допустимых значений коэффициента регулятора $k_1 \in (666,8; \infty)$. Из (27) при граничных значениях k_1 найдены соответствующие значения k_0 и k_2 , и значение правой границы свободных полюсов:

1. при $k_1 = 666,8$ находим $k_2 = 0,96, k_0 = 813,036$.
2. при $k_1 = 2000$ находим $k_2 = 6,347, k_0 = 2423$.

Заметим, что при выборе правой границы интервала коэффициента k_1 обеспечивается большая степень робастного доминирования γ^* .

На рисунке 9 изображена область локализации полюсов (комплексно-сопряженные) интервальной системы параметра k_1 .

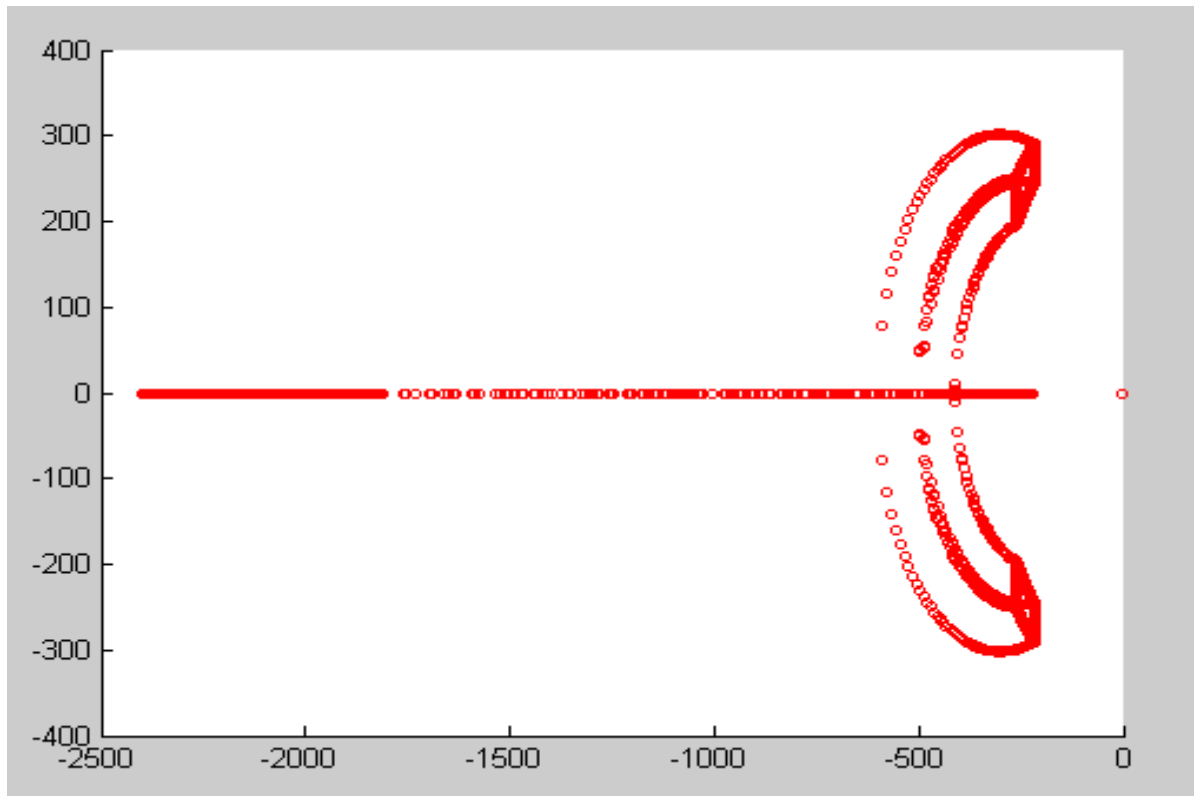


Рисунок 9 – Области локализации доминирующего и свободных полюсов

Наихудшему режиму работы системы соответствуют вершины, в которых система имеет минимальную степень устойчивости и максимальную колебательность. Система имеет максимальную степень колебательности в вершине $\overline{a_3} \underline{a_2} \overline{a_1} \underline{a_0}$ ($s_1 = -1,223, s_2 = -72,308 + 196,579j, s_3 = -72,308 - 196,579j$). Минимальная степень устойчивости обеспечивается в вершине $\overline{a_3} \underline{a_2} \underline{a_1} \underline{a_0}$ ($s_1 = -1, s_2 = -72,42 + 196,62j, s_3 = -72,42 - 196,62j$). На основании графика (рисунок 10) могут быть определены прямые показатели качества: для случая 1 – $t_p = 0,065c, \sigma = 37\%$; для случая 2 – $t_p = 0,06c, \sigma = 24\%$.

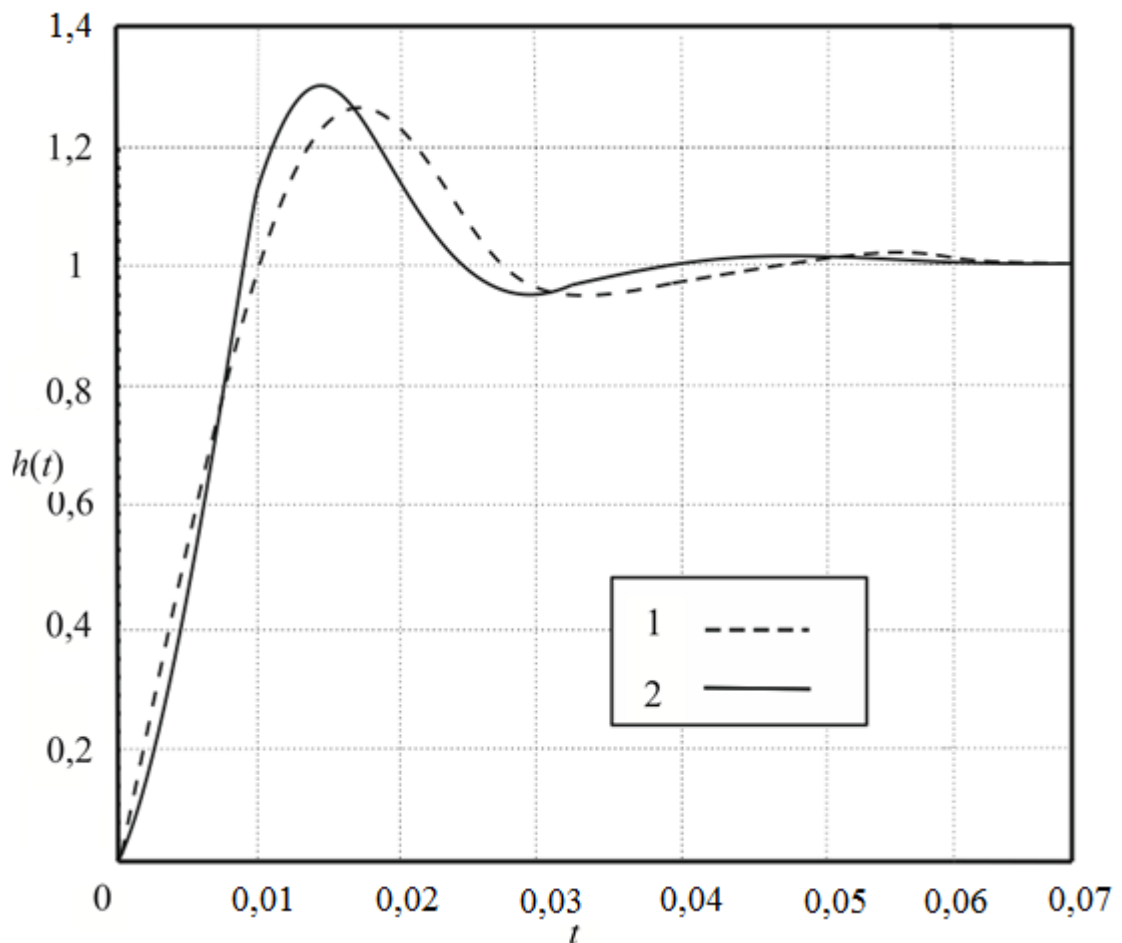


Рисунок 10 – Переходная характеристика системы в наихудших режимах работы

Рассмотрим случай, когда свободные корни – вещественные, подставляя выражение(27) в (23), получим область допустимых значений коэффициента $k_1 \in [1; 5537)$.

1. при $k_1 = 5537$ находим $k_2 = 20,638, k_0 = 6746$.

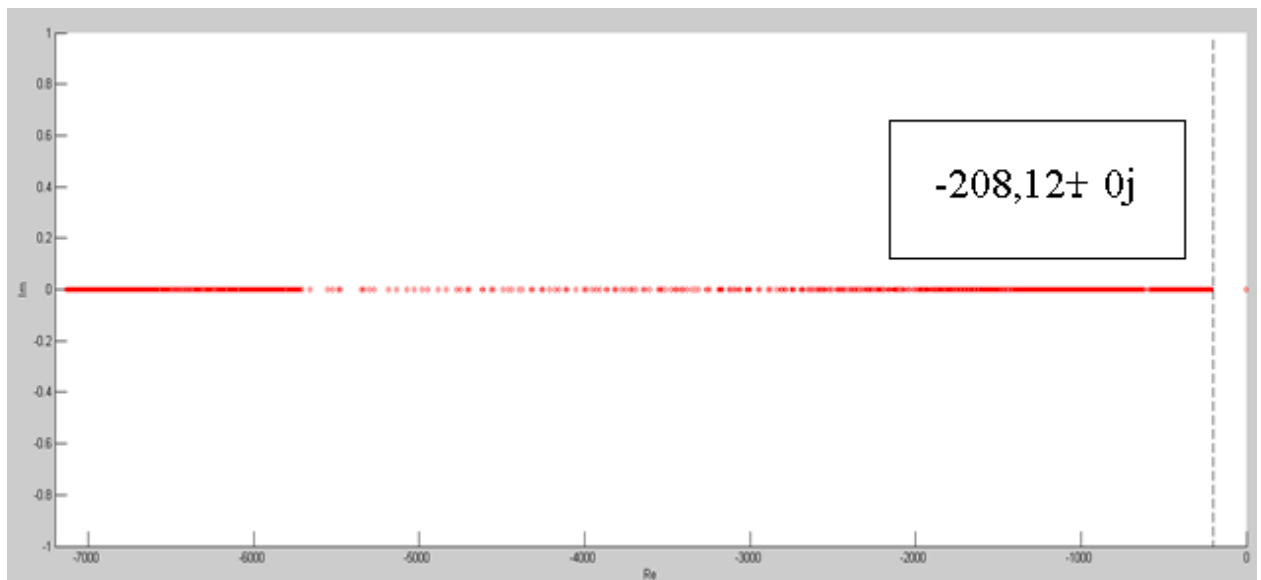


Рисунок 11 – Области локализации доминирующего и свободных полюсов

В случае вещественных корней, наихудший режим работы, соответствующий минимальной степени устойчивости и максимальной колебательности, определяется $\underline{a_3} \overline{a_2} \underline{a_1} \overline{a_0}$ ($s_1 = -1,5$, $s_2 = -7131$, $s_3 = -208,119$). Из графика видно, что система имеет следующие прямые показатели качества для случая $t_p = 1,5c$, $\sigma = 0\%$.

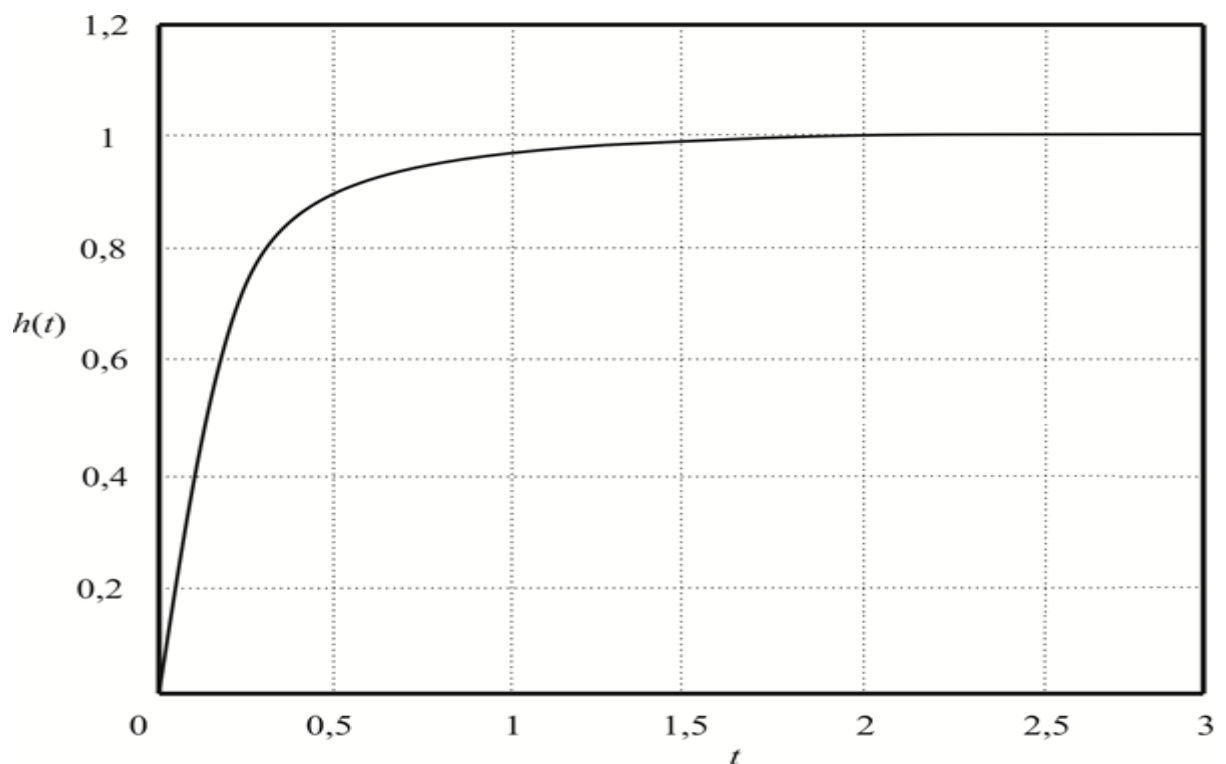


Рисунок 12 – Переходная характеристика системы в наихудшем режиме

3.3. Основные результаты

В работе решена задача синтеза линейных ПИ- и ПИД- регуляторов, обеспечивающего в САУ аperiodический характер переходных процессов. В основе данных методик лежит процедура разделения характеристического полинома САУ на доминирующий и свободный. Доминирующий полином предписывает расположение доминирующего вещественного полюса (для стационарной САУ) или отрезка доминирующего полюса (для интервальной САУ) и определяет степень аperiodической устойчивости системы и соответственно быстродействие переходного процесса. Свободный полином располагает все оставшиеся полюсы (для стационарной) или область локализации полюсов (для интервальной системы) на заданном расстоянии от доминирующего полюса. Свободный полином находится путем деления характеристического полинома на доминирующий. В результате деления получается остаток, который по условию должен быть равен нулю.

Для синтеза линейного регулятора, обеспечивающего аperiodический переходный процесс в стационарных и интервальных САУ низкого порядка получены соответствующие условия для определения настроек регулятора. На основе данных условий связывающих настройки регулятора и коэффициенты характеристического полинома разработаны методики, позволяющие без больших вычислительных затрат рассчитывать искомые параметры регулятора.

Разработанные методики определения параметров регулятора для интервальной и стационарной САУ удобны в использовании, в виду того, что представляют собой простые алгебраические зависимости параметров регулятора от коэффициентов характеристического полинома.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

4.1. Организация и планирование работ

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

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является **сетевой, либо линейный график** реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика. Для его построения составим перечень работ и соответствие работ своим исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 4.

Таблица 4 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

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

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

4.1.1. Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

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

- аналоговый;
- экспертный.

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

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

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

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 5 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

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

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д},$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}},$$

где $T_{\text{РД}}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}},$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

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

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 6 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 5 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					$T_{\text{РД}}$		$T_{\text{КД}}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	НР	И	НР	И
Подготовительный этап								
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	2	1,4	1,68	-	2,02	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	4	6	4,8	2,88	5,76	3,47	6,93
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,4	1,68	1,68	2,02	2,02
Изучение предметной области	И	7	10	8,2	-	9,84	-	11,85
Синтез регулятора апериодической степени устойчивости								

Расчет модели, приведение полученных результатов	И	14	20	16,4	1,39	19,68	1,67	23,69
Оформление методики синтеза регулятора	И	5	7	5,8	-	6,96	-	8,39
Экономическое обоснование								
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	3	5	3,8	—	4,56	-	5,49
Анализ опасных и вредных производственных факторов								
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды,	И	1	2	1,4	-	1,68	-	2,02

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

4.1.2. Расчет накопления готовности работ

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

$$СГ_i = \frac{ТР_i^H}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i ТР_k}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m ТР_{km}},$$

где ТР_{общ.} – общая трудоемкость проекта;

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

ТР_{iH} – накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении;

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

Результаты вычислений отражены в таблице 6.

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

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2,03	2,03
Составление и утверждение ТЗ	10,47	12,5
Разработка календарного плана	4,07	16,57
Изучение предметной области	12,93	29,5
Расчет модели, приведение полученных результатов	25,67	55,17

Оформление методики синтеза регулятора	15,87	71,04
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	6,13	77,17
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	4,53	81,7
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	7,7	89,4
Оформление графического материала	5,53	94,93
Подведение итогов	5,07	100

Таблица 7 – Линейный график работ.

тап			Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	0	50	60	70	80	90	100	110
	2,02	-											
	3,47	6,93	 										
	2,02	2,02		 									
	-	11,8 5											
	1,67	23,6 9			 								
	-	8,39											
	-	5,49											
	-	2,02											
	-	5,49											

0	-	5,49											
1	2,02	2,02											

HP –

И

4.2. Расчет сметы затрат на создание макета КУ

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

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

4.2.1. Расчет затрат на материалы

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

Таблица 8 – Расходные материалы

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

пояснительной записки			
Итого:			220

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

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

4.2.2. Расчет основной заработной платы

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

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

$$ЗП_{\text{дн-т}} = МО/24,83$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 9. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце 24,83 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 7. Также был принят во внимание учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы $K_{\text{ДЗП}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$.

Таблица 9 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	9	1,699	14327,21
И	7 915	318,77	73	1,699	39536,09
Итого:					53863,3

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

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

4.2.3. Расчет отчислений от заработной платы

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

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}},$$

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

- отчисления в пенсионный фонд;
- на социальное страхование;
- на медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили:

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

4.2.4. Расчет затрат на электроэнергию

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

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}$$

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

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

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

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

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_{\text{в}}$$

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{с}},$$

где $P_{\text{ном}}$ – установленная мощность оборудования, кВт;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент спроса, зависящий от количества, загрузки групп электроприемников.

Для технологического оборудования малой мощности $K_{\text{с}} = 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

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

4.2.5. 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:

$$C_{ам} = \frac{H_A \cdot Ц_{об}}{F_d} \cdot t_{рф} \cdot n,$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 25\%$;

$Ц_{об}$ – цена оборудования, $Ц_{об} = 45000$ руб.;

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

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, $t_{рф} = 102$ часа;

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

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

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

Для принтера Ц_{ОБ} = 12000 руб., его F_д = 500 час., Н_А = 50%, тогда его амортизация составит:

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

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

4.2.6. 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

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

Подставим значения и вычислим:

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

4.2.7. Расчет общей себестоимости разработки

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

Таблица 11 – Смета затрат на разработку проекта

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

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

4.2.8. Расчет прибыли

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

4.2.9. Расчет НДС

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

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

4.2.10. Цена разработки НИР

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

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

4.3. Оценка экономической эффективности проекта

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

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.

4.3.1. 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:

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

где $K_{НТУ}$ – коэффициент научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

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

Таблица 12 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

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

Таблица 13 – Баллы для оценки уровня новизны

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

Таблица 14 – Баллы значимости теоретических уровней

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

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

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

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 15.

Баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

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

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

Таким образом, исходя из данных в таблице 16, проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Таблица 16 – Оценка уровня научно-технического эффекта

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

Обоснование оценки признаков НИОКР приводится в таблице 18.

Таблица 17 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относительно новая	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 синтез систем автоматического управления различной степени апериодической устойчивости без особых экономических затрат.
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Возможность реализации в кратчайшие сроки

5. Социальная ответственность

5.1. Введение

Целью выпускной квалификационной работы является анализ и синтез интервальных систем низкого порядка, а также изучение применяемых при этом методов.

В данной ВКР представлена разработка программно – методического обеспечения.

Данный тип работ, тесно связан с вычислительной техникой (ВТ), поэтому человек подвержен влиянию оборудования и окружающих условий.

5.2. Производственная безопасность

Работа по разработке метода анализа и синтеза относится к категории работ связанных с опасными и вредными производственными факторами.

Вредные производственные факторы – факторы, воздействие которых на человека могут привести к его заболеванию и снижению работоспособности.

Опасные производственные факторы – факторы, воздействие которых могут привести к травме, отравлению, внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти человека.

Таблица 18. Опасные и вредные факторы при разработке метода анализа и синтеза интервальных систем низкого порядка

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
	1. Повышенный уровень шума; 2. Несоответствующий микроклимат рабочего	1. Электрический ток	1. СанПиН 2.2.4-548-96 [25] 2. СанПиН

	помещения; 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 4. Недостаточная освещенность рабочего помещения;		2.2.2/2.4.1340- 03 [29]; 3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562- 96[24].
--	---	--	---

Далее более подробно рассмотрим данные опасные и вредные факторы.

5.2.1. Отклонение параметров микроклимата

Требования к параметрам микроклимата определяются согласно СанПиН 2.2.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [25].

Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения (значительные или незначительные тепловыделения). Допустимые параметры микроклимата, приведены в таблице 19.

Таблица 19. Микроклимат производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Скорость движения воздуха, м/с	Относительная влажность воздуха, %
Холодный	22-24	до 0,1	40-60
Теплый	23-25	0,1-0,2	40-60

В рабочем помещении поддержание параметров микроклимата должно обеспечиваться отоплением и кондиционированием, температура

воздуха в помещении соответствует норме. В таких условиях человек способен полноценно работать, отдыхать и проводить свободное время.

5.2.2. Недостаточность освещения

Согласно СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»:

- Минимальное естественное освещение должно быть $E_n = 1,2$ К.Е.О.
- Минимальная освещенность при использовании ПЭВМ составляет $E_t = 300$ лк.
- Освещенность рабочего стола должна быть не менее 300 лк, что может достигаться установкой местного освещения.
- Местное освещение не должно создавать бликов на экране. Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура) за счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м^2 .
- Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

5.2.3. Повышенный уровень шума

Шумы – это беспорядочные звуковые колебания разной физической природы, характеризующиеся случайным изменением амплитуды, частоты и др.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные

сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

Шум, возникающий при работе оборудования и превышающий нормативные значения, негативно воздействует на центральную и вегетативную нервную систему человека, органы слуха.

На рабочем месте шум создается следующими источниками: охлаждающей системой ПЭВМ, печатающим механизмом принтера, системой кондиционирования помещения.

В таблице 20 согласно [25] указаны предельные уровни звука в зависимости от категории тяжести и напряженности труда, являющиеся безопасными в отношении сохранения здоровья и работоспособности.

Таблица 20 – Предельные уровни звука, дБ, на рабочих местах

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	

Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50дБА. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены ПЭВМ, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами.

5.2.4. Повышенные уровни электромагнитного поля

ПК при работе излучают электромагнитные радиочастоты, значит, работники подвержены воздействию электромагнитных полей.

Силовые линии электромагнитных полей не ограничиваются экраном монитора, а охватывают всё пространство вокруг, значит, персонал целесообразно размещать вдоль стен, так чтобы панель монитора была обращена к стене.

Предельно допустимые значения излучений от ЭВМ в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [26]приведены в таблице 21

Таблица 21. Параметры неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметров	Допустимое значение
Напряжённость электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц; в диапазоне частот 2 – 400 кГц.	25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц; в диапазоне частот 2 – 400 кГц.	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать:	500 В

Возможные способы защиты от ЭМП:

Увеличение расстояния от источника: для избегания последствий экран видеомонитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя;

Для снижения воздействия электромагнитного излучения следует применять мониторы с пониженным уровнем излучения, придерживаться регламентированного режима труда и отдыха, а также проводить регулярную гигиеническую уборку помещения.

5.2.5. Электрический ток

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.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

В помещении 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 оборудованием;
- запрещается загромождать рабочее место лишними предметами.
- при возникновении несчастного случая следует немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и оказать ему необходимую помощь, предварительно вызвав врача.

5.3. Экологическая безопасность

Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие

мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Исключением являются лишь случаи утилизации персонального компьютера, как твердого отхода и как следствие загрязнение почвы или выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, углекислого газа, образование тепла в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, их можно отнести к отходам электронной промышленности. Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию подлежат захоронению на полигонах.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов.
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут

- привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожарной безопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В целях предотвращения пожара предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

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

Обогревание помещения открытыми электронагревательными приборами могут привести к пожару, т.к. в помещении находятся бумажные

документы и справочная литература. Следовательно, использование открытого нагревательного прибора неприемлемо.

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

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

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курение в помещении лаборатории необходимо категорически запретить.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара огнетушителями.

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

5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место должно отвечать требованиям техники безопасности.

Рабочее место - это часть пространства, в котором инженер осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени. Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать

антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия:

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

Главными элементами рабочего места являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз. Также необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми “отвлекающими” мышечными нагрузками на те звенья опорно-двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы.

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

Рабочий стул должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах (400 - 500) мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина

– не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах $(90 - 110)^\circ$.

При исследовании метода никаких специальных требований трудового законодательства не предусмотрено.

В организации должна быть сформирована комиссия по чрезвычайным ситуациям (КЧС). В ряде случаев при отсутствии КЧС предусмотрено возложение координирующих функций на руководителя организации.

Основными задачами объектовой КЧС являются:

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

Заключение

В ходе выполнения ВКР были изучены и проанализированы методы анализа и синтеза линейных систем автоматического управления. Были рассмотрены различные способы оценки качества функционирования линейных систем, приведен сравнительный анализ показателей качества, а также дан краткий обзор существующих методов синтеза САУ. С целью анализа динамики функционирования систем высокого порядка на основании ряда допущений обоснована актуальность эквивалентирования их системами низкого порядка и проведения для них процедуры синтеза регулятора по критерию желаемого расположения полюсов характеристического полинома замкнутой системы.

1. Для стационарной системы приведена методика синтеза линейного ПИ-регулятора обеспечивающего заданную степень апериодического устойчивости для систем низкого порядка и получены простые соотношения, позволяющие определять значения настроечных параметров регулятора на основании коэффициентов характеристического полинома системы. Для подтверждения работоспособности методики был проведен синтез ПИ-регулятора системы третьего порядка. Полученная в результате синтеза система удовлетворяет предписанным ей требованиям.

2. Для интервальной системы разработана методика синтеза ПИД-регулятора и получены простые соотношения, позволяющие определять значения настроечных параметров регулятора на основании коэффициентов интервального характеристического полинома системы. Для подтверждения работоспособности методики был проведен синтез ПИД-регулятора системы третьего порядка. Система удовлетворяет требованиям.

Значимость данной работы заключается в том, что её можно использовать в качестве примера к решению задач подобного типа, а полученная процедура синтеза достаточно формализована для создания на ее основе программного обеспечения.

Conclusion

In the course of the WRC have been studied and analyzed by the methods of analysis and synthesis of linear systems of automatic control. different ways to assess the quality of functioning of linear systems were considered, the comparative analysis of quality indicators, as well as a brief overview of existing methods of synthesis of ACS. In order to analyze the dynamics of the systems of higher order based on a number of assumptions equivalenting the urgency of their systems and lower order of the procedures for their synthesis controller according to the criterion of the desired location of the characteristic polynomial of the closed system poles.

1. For a stationary system, see procedure for the synthesis of linear PI controller provides the desired degree of stability for the aperiodic low-order systems and obtained simple relations, allowing to determine the value of the tuning of the controller parameters on the basis of the coefficients of the characteristic polynomial of the system. To confirm the performance methodology was conducted synthesis of PI third-order system. The resulting synthesis system it satisfies prescribed requirements.

2. For the interval system developed a method of synthesis of PID and obtained simple relations, allowing to determine the value of the tuning of the controller parameters on the basis of the coefficients of the interval characteristic polynomial system. Synthesis PID third-order system was held to confirm the method performance. The system meets the requirements.

The significance of this work lies in the fact that it can be used as an example to the solution of problems of this type, and the resulting synthesis procedure is quite formalized to build on its base software.

Список используемой литературы

1. Неймарк, Ю.И. Область робастной устойчивости и робастность по нелинейным параметрам // ДАН. 1992. Т.325, № 3. -С.438-440.
2. Неймарк, Ю.И. Робастная устойчивость линейных систем // ДАН. 1991. Т. 319. № 3. -С.578-580.
3. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления. -М.: Энергоиздат, 1984.
4. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов. ~М.: Энергоиздат, 1982.
5. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. - М.: Энергоиздат, 1984.
6. Ротач В.Я. Расчет настройки реальных ПИД регуляторов // Теплоэнергетика. 1993. №10.
7. Ротач В.Я. К расчету систем автоматического регулирования со вспомогательными информационными каналами методом многомерного сканирования // Теплоэнергетика. 2001. №11 .
8. Добронев Б. С. Интервальная математика: Учеб. пособие / «СФУ», — Красноярск, 2007. —287 с.
9. Гайворонский, С.А. Определение настроек линейных регуляторов, обеспечивающих апериодические переходные процессы в интервальных системах / С.А. Гайворонский, М.С. Суходоев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Том 316. – № 5. – С. 12-15.
Добавишь в список литературы
10. Домбровский В.В. Синтез динамических регуляторов пониженного порядка при ограничениях // Автоматика и телемеханика., 1996. № 11. – С. 10–17.
11. Kell L.H. State-Space Design of Low-Order Stabilizers/Kell L.H., Bhattacharyya S.P. / IEEE Trans. Automat. Contr, 1990. Vlo.35, No.2. – P. 182–186.

12. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: полиномиальный метод синтеза двухканальной системы // Сб. науч. тр. НГТУ, 2009. № 4(58). – С. 121–124.
13. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: модальный метод синтеза в пространстве состояний / Воевода А. А., Шоба Е. В. // Сб. науч. тр. НГТУ, 2010. № 1(59). – С. 25–34.
14. Воевода А.А. Синтез регуляторов пониженного порядка / Воевода А. А., Мелешкин А. И. // Научный вестник НГТУ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1997, № 3. – С 41–58.
15. Воевода А.А. О совмещенных декартовых координатах в пространстве корней многочленов с действительными коэффициентами / Воевода А. А., Плохотников В. В., Чехонадских А. В. // Сб. науч. тр. НГТУ, 2001. № 1(23). – С. 153–156.
16. Yang X.H. Low Order Controller Design Method / Yang X.H., Packard A.A. // Pros. Of the 34th Conference on Decision & Control. – New Orleans, 1995. – P. 3068–3073.
17. Скворцов Л.М. Синтез линейных систем методом полиномиальных уравнений // Автоматика и телемеханика, 1991. № 6. – С. 54–59.
18. Белихмайер М.Я. Синтез корректирующих устройств систем автоматического управления на основе равномерного приближения / Белихмайер М.Я., Гончаров В.И. // Автоматика и телемеханика, 1997. № 5. – С. 3–11.
19. Боровиков А.Ю. Аппроксимационные алгоритмы синтеза регуляторов пониженного порядка / Боровиков А. Ю., Воевода А. А., Мелешкин А. И. // Сб. науч. тр. НГТУ, 1999. № 2(15). – С. 130–134.
20. Эйлер, Л., Труды С. - Петербургской академии наук. – 1765. – Том XIII.
21. Fuller, A.T. Conditions for a periodicity in linear systems // Brit. J. Appl. Phys., 1955. № 6. – P. 195-198.

22. Мееров, М.В. Критерий апериодичности регулирования // Известия АН СССР. Отд. Техн. Наук, 1945. № 12. – С. 10-17.
23. Удерман, Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматических систем – М.: Наука, 1972. – С. 448 .
24. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
25. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
26. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).
27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
28. Бесекерский В.А., Небылов А.В. Робастные системы автоматического управления М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983, -240с.
29. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1996. - 992 с.

ПриложениеА
(обязательное)

Control systems with interval parameters

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Ченкова Оксана Александровна		

Консультант от кафедры АИКС:

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

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

CONTROL SYSTEMS WITH INTERVAL PARAMETERS

A.1 CONTROL SYSTEMS WITH INTERVAL PARAMETERS

The analysis and synthesis of systems with interval parameters of the main objectives is not only the preservation of stability, but also to ensure the desired quality of governance for all values of the parameters interval.

At its core, with interval parameters of the system is a family of automatic control systems with constant parameters. Thus, a robust system to apply the same means description: state space description in matrix form, and transfer functions of the characteristic polynomials. Obviously, the coefficients of the transfer function of the system robust and, hence, its characteristic polynomial coefficients depend on the parameters of interval.

A.2 INTERVALS AND INTERVAL ARITHMETIC

An interval is a range of values of any system parameter, which is limited on both sides. The interval is usually marked by the Latin alphabet letters that are enclosed in square brackets. The upper and lower interval boundaries are marked by the same letter with a bar over or under it.

$$[x] = [\underline{x}; \bar{x}]$$

The set of operations, which are carried out with intervals is called interval analysis. An interval analysis is the set theory development. That analysis allows performing the basic arithmetic operations on intervals and operations on interval matrixes and allows calculating the value of transcendental functions, etc.

To learn the ropes of the robust control basic principles it is sufficient to know the interval arithmetic. Let us consider it in detail.

$[x]$ and $[y]$ interval *addition* is performed by the rule:

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

The lower limit of the two-interval sum is equal to the sum of additive component lower limits.

The upper limit of two-interval sum is equal to the sum of additive component upper limits.

$[x]$ and $[y]$ interval *subtraction* is performed by the rule:

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

The lower limit of the two-interval difference is equal to the difference between the lower limit of the reduced and the upper limit of the deductible.

The upper limit of the difference between the two intervals equal to the difference between the minued upper limit and the subtrahend lower limit.

$[x]$ and $[y]$ interval *multiplication* is performed by the rule:

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

The lower limit of the two-interval product equals the minimum of the accumulation factors borders.

The upper limit of the two-interval product equals the maximum of the accumulation factors borders.

$[x]$ and $[y]$ interval *division* is performed as the multiplication of the dividend by the interval, which is backward to the denominator.

The *backward* interval calculation is performed by the rule:

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

A.3 INTERVAL CHARACTERISTIC POLYNOMINALS

An automatic control system with interval parameters represents a family of automatic control systems with constant parameters. Therefore, the similar classification techniques such as state space, classification in matrix form, transfer functions and characteristic polynomials can be applied to robust systems. It is obvious that coefficients of the robust system transfer function and coefficients of its characteristic polynomial depend on interval parameters.

An interval characteristic polynomial (ICP) is a denominator of the robust automatic control system transfer function.

There are several types of uncertainties: interval, related or polynomial.

The simplest type of uncertainty is an interval uncertainty.

For example, an interval polynomial is defined as follows:

$$P(s) = \left\{ P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] \cdot s^i : \underline{a_i} \leq a_i \leq \bar{a_i}, \underline{a_n} > 0 \right\}$$

The polynomial coefficients are interval parameters. This is quite rare, because usually the coefficients of polynomials are abstract and do not have a physical meaning.

A related uncertainty is one of the ways to consider the influence of several interval settings on each of the coefficients of the polynomial.

For example, the related polynomial is defined as follows:

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

Based on the definition of the main types of uncertainties, we can conclude that any uncertainty can be reduced to the interval uncertainty by interval arithmetic rules.

A.5 SHOWING CHARACTERISTIC POLYNOMIAL COEFFICIENTS OF THE POLYGON ON THE ROOT PLANE

Let the operation of a system of automatic control determined by the values of parameters n interval. In this case, it can be said that the system exists in a dimensional space of its parameters, and the set of all possible modes of operation of the system is limited to a certain figure in this space - parametric polyhedron.

To illustrate, consider a simple example: a system of automatic control of the second order with a transfer function of the form:

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

Obviously, the operation of the system is completely determined by the set values of the three interval settings: $[a_2]$, $[a_1]$ and $[a_0]$. It can be said that the set of possible modes of operation of the system is limited to a cube in three-dimensional space of these parameters.

Obviously, the top and edges can be identified in this parametric polyhedron.

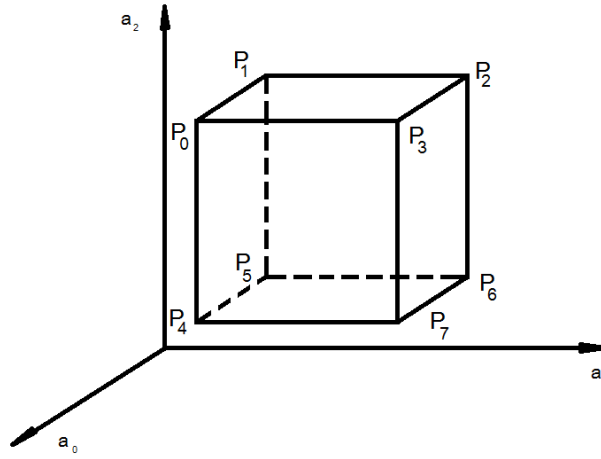


Fig. 1 – Parametric polyhedron hypothetical second-order system

Obviously, the parametric coordinates of each vertex of the polyhedron represent a set of intervals extreme values. For example, the top P_0 is in the space coordinate system parameters $[\underline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$; peak P_1 - coordinates $[\underline{a_0}; \underline{a_1}; \overline{a_2}]$. Obviously in this case, it corresponds P_1P_0 to the change that an edge parameter a_0 from its lower limit $\underline{a_0}$ to the upper limit $\overline{a_0}$. It is worth noting that the number of parametric system of the polyhedron edges with the interval uncertainty is given by:

$$N = m \cdot 2^{m-1},$$

Here N - number of edges of a polyhedron parametric, m - number of interval parameters. Indeed, if the system has two interval setting, the feature of the system will degenerate into a polyhedron with square $N = 2 \cdot 2^{2-1} = 4$ edges; at interval of three parameters - a cube with $N = 3 \cdot 2^{3-1} = 12$ edges.

Each point within the described parametric polyhedron defines its coordinates set interval values of coefficients of the characteristic equation of the system. Noting the roots of the characteristic equation for each of the possible modes, we get a portrait of the location of areas of their localization, called multivariable interval root locus.

Here is an example root locus for any second-order system, the transfer function of which has been shown previously. Let the interval coefficients of the transfer function are defined as follows:

$$a_0 = [2;5]; a_1 = [3;6]; a_2 = [2;6];$$

then multiparameter interval root locus will be as follows.

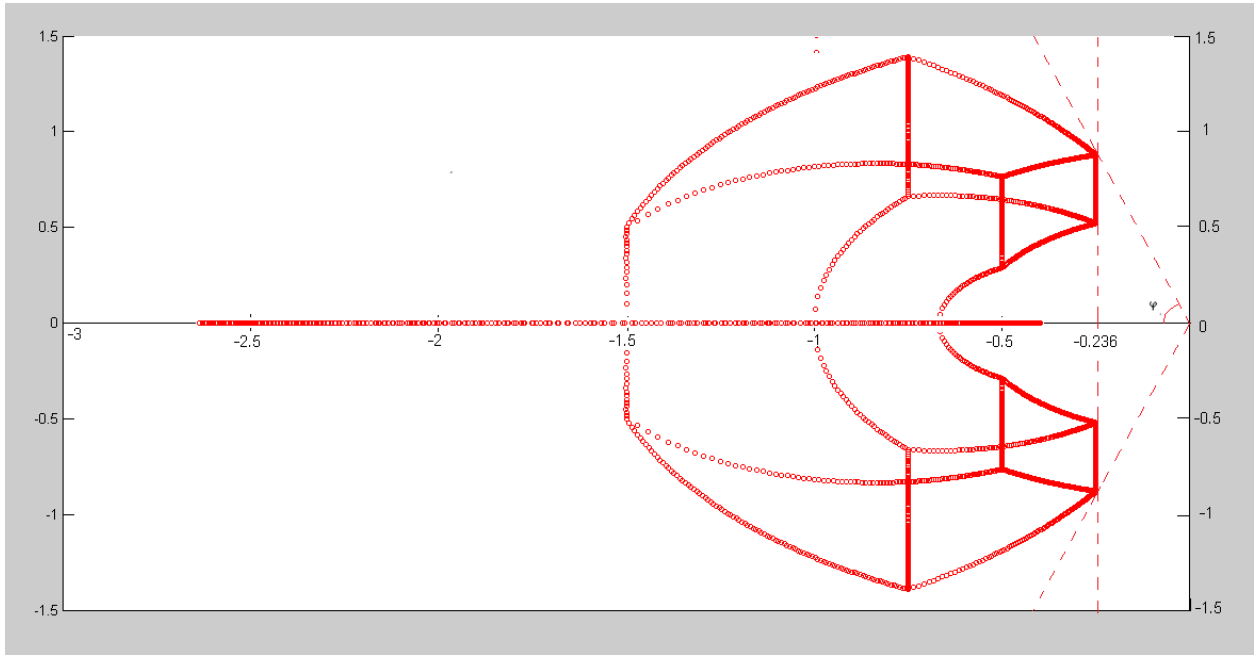


Fig. 2 – Multiparameter interval root locus of the second order of any system

This hodograph makes it easy to determine the extent of the system robust stability and robust oscillatory system. In this case, the degree of robust stability, defined as the largest real part of the roots of the characteristic polynomial, taken with the opposite sign, is equal to 0.236. Robust oscillation, defined as the tangent of the angle φ (Figure 2), is equal to 3.729.