

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами на основе D-разбиения и метода доминирующих полюсов

УДК 681.515-531.6:621.313.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158T51	Ван Цин		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский С. А.	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А. В.	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Е. И.	К.Т.Н.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов С. В.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
158Т51	Ван Цин

Тема работы:

Синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами на основе D-разбиения и метода доминирующих полюсов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	No 973/с от 07.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	14 июня 2019 г.
--	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Параметры следящей системы:

$K^a_{\text{ду}} = 1$; $T_1 = 0,002$; $T_m = 0,3$; $K_1 = 1$; $K_{\text{эу}} = 20$;
 $K_p = 0,008$; $K_d = 1,4$; $K^b_{\text{ду}} = 25$

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Построение функциональной и структурной схем СС. 2. Получение передаточной функции замкнутой СС по управлению и ее характеристического уравнения. 3. Теоретические основы исследований следящей системы 4. Синтез стационарной следящей системы . 5. Синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7. Социальная ответственность. 8. Выводы по результатам работы.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Функциональная схема СС 2. Структурная схема СС 3. Построение границы области D-разбиения 4. Интервальный корневой годограф СС

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: нет

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.10.2018
--	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158T51	Ван Цин		

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.19	Получение математическая модель следящей системы	15
15.03.19	Теоретические основы исследований следящей системы: метод D-разбиения, метод доминирующих полюсов.	15
01.04.19	Синтез стационарной следящей системы	15
15.04.19	Синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами	15
04.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
12.05.19	Социальная ответственность	10
16.05.19	Выводы по результатам работы	10
30.05.19	Оформление ВКР	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Е. И.	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
158Т51	Ван Цин

Школа	ИК	Отделение школы (НОЦ)	АИКС
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	27.03.04 «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 НИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НИ, разработка графика проведения НИ, планирование бюджета НИ.
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 НИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Организация и планирование работ
2. Расчет сметы затрат на создание макета КУ
3. Оценка экономической эффективности проекта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т51	Ван Цин		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
158T51	Ван Цин

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

Синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами на основе D-разбиения и метода доминирующих полюсов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования — следящая система с интервальными параметрами. В процессе использовался компьютерное программное обеспечение Mathcad .
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) – ГОСТ 12.0.002-2014 ССБТ. Термины и определения; – ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования; – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума; – отсутствие или недостаток естественного света; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; – термическая опасность.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – выявление загрязнения атмосферы парами сварочного аэрозоля; – утилизация неисправных деталей; – выявление попадания в гидросферу взвешенных веществ и нефтепродуктов при обмывке пятников перед восстановлением.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– возникновение пожара.
--	-------------------------

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158T51	Ван Цин		

Реферат

Выпускная квалифицированная работа содержит 67 страниц текста, 15 рисунков, 17 таблиц, 40 литературных источников.

Ключевые слова: следящая система, D-разбиение, метод доминирующих полюсов, интервальные параметры, характеристический полином, степень устойчивости.

Объектом исследования является следящая система с интервальными параметрами.

Цель работы – синтез регулятора следящей системы, который обеспечивает желаемое расположение ее полюсов на основе принципа доминирования. В процессе выполнения работы использовался математический аппарат интервального анализа, метод D-разбиения и метод доминирующих полюсов.

Область применения: проектирование систем автоматического управления, объекты которых содержат интервально-неопределенные или изменяющиеся в известных пределах параметры.

Разработана математическая модель следящей системы (СС) в форме структурной схемы, получена ее передаточная функция и характеристическое уравнение. Разработан алгоритм параметрического синтеза ПИ-регулятора СС методом доминирующих полюсов. Для этого был применен метод D-разбиения при крайних значениях интервального параметра СС. Для подтверждения результатов анализа выполнено компьютерное моделирование СС.

В пятой главе выполнено задание по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В шестой главе выполнено задание по разделу «Социальная ответственность».

Оглавление

Введение.....	13
1 Построение математической модели следящей системы	15
1.1 Функциональная схемы следящей системы	15
1.2 Описание элементов следящей системы	16
1.3 Структурная схема следящей системы	17
1.4 Передаточная функция замкнутой следящей системы	19
2 Теоретические основы исследований следящей системы	20
2.1 Метод D-разбиения	20
2.2 Метод доминирующих полюсов.....	21
3 Синтез стационарной следящей системы	23
3.1 Синтез стационарной следящей системы на основе метода D-разбиения.	23
3.2 Синтез стационарной следящей системы на основе D-разбиения и метода доминирующих полюсов.....	24
4 Синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами...	30
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	34
5.1 Организация и планирование работ	34
5.1.1 Продолжительность этапов работ	35
5.1.2 Расчет накопления готовности работ.....	39
5.2 Расчет сметы затрат на создание макета КУ	43

5.2.1 Расчет затрат на материалы	43
5.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	44
5.2.3 Расчет амортизационных расходов	44
5.2.4 Расчет основной заработной платы.....	44
5.2.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	45
5.2.6. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	46
5.2.7. Расчет затрат на научные и производственные командировки	47
5.2.8. Контрагентные расходы	47
5.2.9. Накладные расходы	47
5.2.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	47
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	48
6 Социальная ответственность	51
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	51
6.2 Производственная безопасность	53
6.2.1 Отклонение параметров микроклимата.....	54
6.2.2 Повышенный уровень шума	55

6.2.3 Недостаточность освещения	56
6.2.4 Повышенные уровни электромагнитного поля	57
6.2.5 Электрический ток	58
6.3 Экологическая безопасность.....	59
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	59
6.5 Вывод.....	61
Заключение	63
Список используемой литературы	64

Введение

В настоящее время в теории управления все больше внимания уделяется разработке методов проектирования систем управления, объекты которых имеют нестабильные параметры, которые в процессе работы под влиянием различных факторов могут изменяться по заранее неизвестным законам в определенных интервалах различной ширины. Такие параметры имеют практически все реальные системы автоматического управления. Для промышленных объектов управления характерным является, например изменение постоянных времени, которые могут меняться в 5-10 раз. Примеры таких параметров приведены в таблице 1.

Второй особенностью реальных объектов управления является наличие параметров, значения которых известны только приближенно и могут быть заданы соответствующими интервалами.

Изменение параметров объектов управления или их неточное знание может привести к тому, что точное математическое описание системы управления является неразрешимой задачей. В результате интервальной неопределенности параметров объекта управления система в процессе работы может даже потерять устойчивость. Поэтому задача разработки методов синтеза регуляторов для объектов с интервальными параметрами является очень актуальной.

Существуют различные методы параметрического синтеза регуляторов для систем управления с интервальными параметрами. Одним из наиболее простых и наглядных является корневой метод, основанный на желаемом расположении параметрами линейного регулятора полюсов интервальной системы управления. При этом особого внимания заслуживает метод доминирующих полюсов, позволяющий желаемым расположением одного-двух доминирующих полюсов обеспечить требуемые динамические свойства системы управления.

В данной ВКР решается задача параметрического синтеза линейного регулятора для следящей системы на основе метода доминирующих полюсов с использованием метода D-разбиения.

Таблица 1.

Нестабильные параметры	Причины неустойчивости	Характеристики неустойчивости		Изменяемые параметры системы управления	Примеры систем управления
		кратность изменения	Темп изменения		
Момент инерции на валу двигателя	Технологическая	5-10	Медленный	Электрохимическая постоянная времени	Моталки, намотки, бумагоделательные машины, обрабатывающие станки, промышленные роботы
Собственные частоты колебаний элементов системы управления	Технологическая Переключение и перемещение механизмов	3-5 1-3	Медленный Быстрый	Параметры упругих связей	Подъемники с длинными канатами, моталки, прокатные станы, антенные системы, металлорежущие и обрабатывающие станки, промышленные роботы
Сопротивление якорной цепи. Параметры тиристорного преобразователя	Нелинейность магнитной цепи якоря Нелинейность преобразователя	2-5 2-10	Быстрый Быстрый	Электромагнитная постоянная времени якорной цепи Динамика токового контура	Тиристорные системы с двигателем постоянного тока

1 Построение математической модели следящей системы

Наиболее широко распространенными следящими системами (СС) являются системы дистанционного слежения за угловыми и линейными перемещениями. Они осуществляют с определенной точностью передачу угла или линейного перемещения, причем закон изменения движения входной оси по углу, скорости и ускорению может иметь любой вид, включая произвольную случайную функцию времени. Специфика работы СС связана с требованиями получения необходимой точности передачи угловых и линейных перемещений.

Помимо измерительных элементов, датчика и приемника, определяющих в основном точность системы, СС состоит из усилительно- преобразовательного устройства, в которое входят элементы корректирующего контура и преобразователи электрических сигналов (демодуляторы и модуляторы), из исполнительного двигателя с редуктором, который отрабатывает угол рассогласования до согласованного положения между углами α и β , преодолевая момент нагрузки на выходной оси [3].

1.1 Функциональная схемы следящей системы

Функциональная схема СС приведена на рис 1, где обозначены задающее воздействие $\alpha(t)$, возмущающий фактор $Z(t)$, выходная величина $\beta(t)$. D_α — датчик входного угла; D_β — датчик угла обратной связи; OY_1 — сигнал подаваемый на операционный усилитель с датчика входного угла; OY_2 — сигнал подаваемый на операционный усилитель с датчика угла обратной связи; Φ — фильтр; M — двигатель; P — редуктор; MC — помехи.

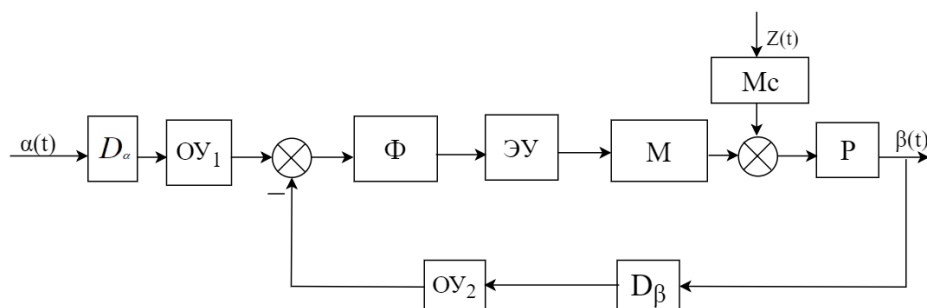


Рисунок 1 — Функциональная схема СС

1.2 Описание элементов следящей системы

В нашей следящей системе для каждого элементов запишем уравнения, характеризующие их работу :

1.Схема фильтра приведена на рисунке. 2.1

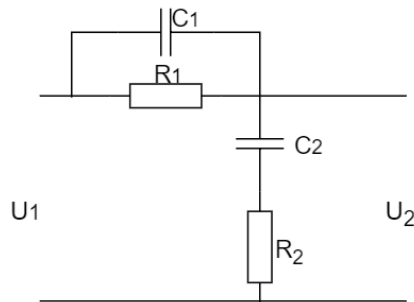


Рисунок 2.1 — Фильтр

Дифференциальное уравнение фильтра:

$$(T_1 P + 1) \cdot \Delta U_2(t) = (K_1 P + K_0) \cdot \Delta U_1(t) \quad (1.2.1)$$

2.Схема электронного усилителя приведена на рисунке. 2.2

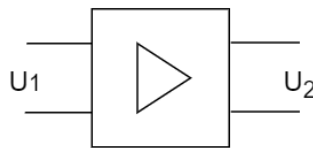


Рисунок 2.2 — Электронной усилитель

Дифференциальное уравнение электронного усилителя:

$$\Delta U_2(t) = K_{\text{у}} \cdot \Delta U_1(t) \quad (1.2.2)$$

3.Схема делителя приведена на рисунке. 2.3

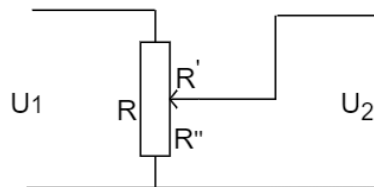


Рисунок. 2.3 — Делитель

Дифференциальное уравнение делителя:

$$U_2(t) = K_{\text{н}} \cdot U_1(t), K_{\text{н}} = \frac{R''}{R'} \quad (1.2.3)$$

4. Схема редуктора приведена на рисунке.2.4

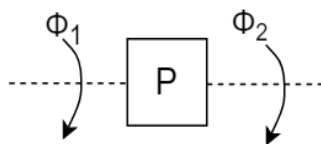


Рисунок 2.4—Редуктор

Дифференциальное уравнение редуктора:

$$\Delta \varphi_2(t) = K_p \Delta \varphi_1(t) \quad (1.2.4)$$

5 . Схема двигателя приведена на рисунке.2.5

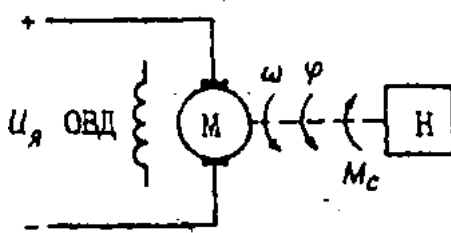


Рисунок. 2.5—Двигатель

Дифференциальное уравнение двигателя:

$$\Delta \phi(t)(T_M P + 1) = K_o \Delta U_{\text{я}}(t) \quad (1.2.5)$$

1.3 Структурная схема следящей системы

Для составления структурной СС необходимо найти передаточные функции всех элементов системы. Для получения передаточных функций применим обратное преобразование Лапласа ($t \rightarrow s$, $p \rightarrow s$).

1. Передаточная функция датчика входного угла:

$$W_{\alpha}^{\alpha}(s) = \frac{U_2}{U_1} = K_{\alpha}^{\alpha} \quad (1.3.1)$$

2. Передаточная функция датчика угла обратной связи:

$$W_{\alpha}^{\beta}(s) = \frac{U_2}{U_1} = -K_{\alpha}^{\beta} \quad (1.3.2)$$

3. Передаточная функция электронного усилителя:

$$W_{\text{эу}}(s) = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = K_{\text{эу}} \quad (1.3.3)$$

4. Передаточная функция фильтра:

$$W_{\varphi}(s) = \frac{K_1 s + K_0}{T_1 s + 1} \quad (1.3.4)$$

5. Передаточная функция двигателя:

$$W_{\delta\epsilon}(s) = \frac{\Delta\varphi(t)}{\Delta U_{\text{я}}(t)} = \frac{K_{\delta}}{T_M s + 1} \quad (1.3.5)$$

6. Передаточная функция редуктора:

$$W_P(s) = \frac{\Delta\varphi_2}{\Delta\varphi_1} = K_P \quad (1.3.6)$$

На основании функциональной схемы и передаточных функций отдельных ее элементов составлена и приведена на рис. 3 структурная схема СС.

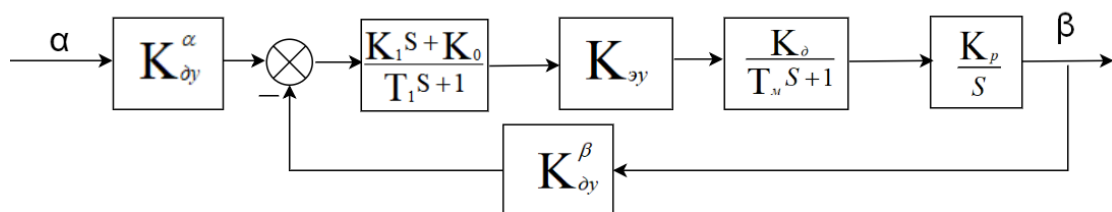


Рис.3—Структурная схема СС

Параметры системы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры СС	Значения параметров СС
$K_{\text{ду}}^{\alpha}$	1
T_1	0.02
T_M	0.3
K_1	1
$K_{\text{эу}}$	20
K_p	0.008
K_d	1.4
$K_{\text{ду}}^{\beta}$	25
K_0	-

1.4 Передаточная функция замкнутой следящей системы

На основе построенной структурной схемы получена передаточная функция СС по задающему воздействию:

$$\begin{aligned}
 W(s) &= K_{\text{эу}}^{\alpha} \frac{\frac{K_1 s + K_0}{T_1 s + 1} K_{\text{эу}} \frac{K_d}{T_M s + 1} \frac{K_p}{s}}{1 + K_{\text{эу}}^{\beta} \frac{K_1 s + K_0}{T_1 s + 1} K_{\text{эу}} \frac{K_d}{T_M s + 1} \frac{K_p}{s}} \\
 &= K_{\text{эу}} \frac{(K_1 s + K_0) K_{\text{эу}} K_d K_p}{(T_1 s + 1)(T_M s + 1)s + K_{\text{эу}}^{\beta} (K_1 s + K_0) K_{\text{эу}} K_d K_p}
 \end{aligned} \quad (1.4.1)$$

Знаменатель передаточной функции замкнутой СС является ее характеристическим полиномом:

$$T_1 T_M s^3 + (T_1 + T_M) s^2 + (1 + K_1 K_{\text{эу}}^{\beta} K_{\text{эу}} K_d K_p) s + K_0 K_{\text{эу}}^{\beta} K_{\text{эу}} K_d K_p \quad (1.4.2)$$

2 Теоретические основы исследований следящей системы

2.1 Метод D-разбиения

Пусть K корней полинома $a_n \lambda^n + a_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + a_1 \lambda + a_0 = 0$ лежат слева от мнимой оси. Переход в пространстве D-разбиения соответствует в плоскости корней переходу их через мнимую ось. Отсюда следует метод определения границы D-разбиения, которая определяется заменой в исследуемом полиноме λ на $j\omega$ и может быть построена изменением значения ω от $-\infty$ до $+\infty$, т. е. Граница D-разбиения есть отражение мнимой оси плоскости корней на пространство коэффициентов характеристического уравнения.

Аналогичным образом можно построить D-разбиение пространства любых параметров, от которых зависят коэффициенты характеристического уравнения (например, постоянных времени и коэффициентов усиления).

В том случае, когда необходимо исследовать влияние на устойчивость только одного параметра при заданных значениях других параметров удобно ввести вместо неизвестного параметра комплексную величину, вещественная часть которой равна этому параметру.

Для определения влияния, например, параметра k характеристическое уравнение разрешается относительно этого параметра k , т. е. приводится к виду

$$Q(\lambda) + kR(\lambda) = 0, \text{ откуда } k = -\frac{Q(\lambda)}{R(\lambda)}. \quad (2.1.1)$$

Предполагается, что

$$k = U(\omega) + jV(\omega). \quad (2.1.2)$$

Для построения области устойчивости принимают $\lambda = j\omega$ и разделяют вещественную и мнимую части :

$$k = -\frac{Q(j\omega)}{R(j\omega)} = U(\omega) + jV(\omega). \quad (2.1.3)$$

Задавая различные значения частоты ω от $-\infty$ до $+\infty$, строят в плоскости U , V (плоскости параметра k) границу D-разбиения. При движении по мнимой оси от $\omega = -\infty$ до $\omega = +\infty$ на плоскости корней область корней с отрицательными вещественными частями остается слева. При этом отмечают направление

движения от $-\infty$ до $+\infty$ и заштриховывают левую часть кривой по отношению к этому движению. В той части плоскости, в сторону которой направлены штрихи, находится отображение левой полуплоскости корней. Поэтому областью устойчивости может быть только эта часть плоскости. Так как область устойчивости ищется в плоскости только одного параметра, то области устойчивости может и не быть. Поэтому для выделенной области необходимо проверить условие устойчивости с помощью какого-либо критерия. После выделения области устойчивости рассматривают лишь действительные значения k [2].

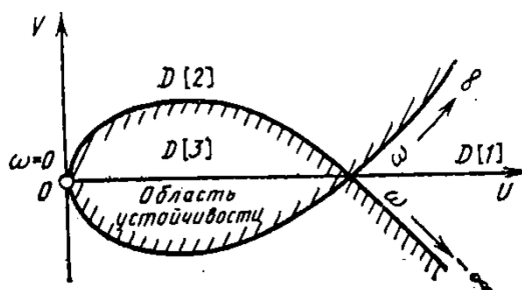


Рисунок 4 — Выделение области устойчивости.

2.2 Метод доминирующих полюсов

Одним из простых и наглядных методов синтеза линейного регулятора является корневой метод, предусматривающий желаемое размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы. Известно, что динамические свойства системы управления (быстродействие, степень затухания колебаний) главным образом определяются одним-двумя доминирующими полюсами, наиболее близкими к мнимой оси. При этом остальные (свободные) полюса системы должны располагаться на достаточном расстоянии от доминирующих полюсов.

Основным требованием при использовании метода доминирующих полюсов является обеспечение принципа доминирования полюсов. Так при задании доминирующих полюсов и области расположения свободных полюсов следует выбирать расстояние между правой границей свободных полюсов и

мнимой осью в 5 раз больше расстояния между доминирующим полюсом и мнимой осью. Заметим, что желаемое расположение доминирующих полюсов устанавливается по заданным прямым показателям качества системы.

Задачу расположения полюсов в соответствии с принципом доминирования должен решать регулятор, параметры которого необходимо настроить соответствующим образом. Для стационарных систем такая задача решается в ряде работ. В [1], например, используются полиномиальные уравнения. В [2,3] применяется интерполяционный метод задания доминирующих полюсов.

Представляет интерес решение указанной задачи для следящей системы с интервальными параметрами.

3 Синтез стационарной следящей системы

3.1 Синтез стационарной следящей системы на основе метода D-разбиения.

Полученный характеристический полином исследуемой СС имеет вид:

$$T_1 T_M s^3 + (T_1 + T_M) s^2 + (1 + K_1 K_{\partial y}^{\beta} K_{\partial y} K_{\partial} K_P) s + K_0 K_{\partial y}^{\beta} K_{\partial y} K_{\partial} K_P = 0. \quad (3.1.1)$$

Значения параметров СС приведены в таблице 2. Определим область устойчивости СС в плоскости параметра K_0 на основе метода D-разбиения. Для этого подставим в (1) $s = j\omega$ и получим уравнение границы D-разбиения.

$$\begin{aligned} K_0(\omega) &= \frac{T_1 T_M (j\omega)^3 + (T_1 + T_M) (j\omega)^2 + (1 + K_{\partial y}^{\beta} K_1 K_{\partial y} K_{\partial} K_P) (j\omega) - K_{\partial y}^{\beta} K_{\partial y} K_{\partial} K_P}{-K_{\partial y}^{\beta} K_{\partial y} K_{\partial} K_P} \\ &= \frac{-jT_1 T_M \omega^3 - (T_1 + T_M) \omega^2 + (1 + K_{\partial y}^{\beta} K_1 K_{\partial y} K_{\partial} K_P) (j\omega)}{-K_{\partial y}^{\beta} K_{\partial y} K_{\partial} K_P} \\ &= \frac{(T_1 + T_M) \omega^2}{K_{\partial y}^{\beta} K_{\partial y} K_{\partial} K_P} + j \frac{(1 + K_{\partial y}^{\beta} K_1 K_{\partial y} K_{\partial} K_P) \omega + T_1 T_M \omega^3}{K_{\partial y}^{\beta} K_{\partial y} K_{\partial} K_P} \\ &= \frac{0.32 \omega^2}{5.6} + j \frac{-6.6 \omega + 0.006 \omega^3}{5.6} \\ K_0(\omega) &= \text{Re} + j\text{Im} = X + jY \end{aligned} \quad (3.1.1)$$

Граница области D-разбиения построена в MATHCAD и показана на рисунке. 5.

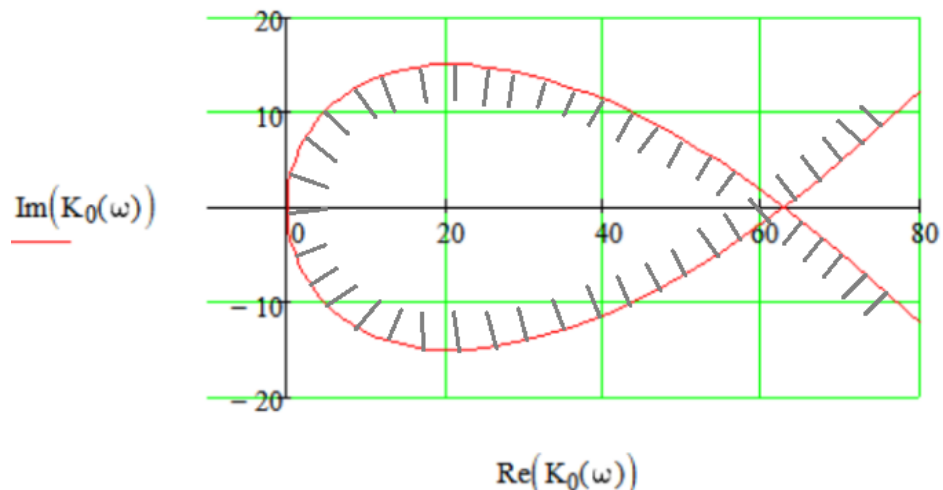


Рисунок 5—Граница области D-разбиения K_0 .

Из Рисунка 5 определяем, что СС устойчива, если $0 < K_0 < 63$.

Если надо определить K_0 , при котором СС имеет заданную степень устойчивости, равную 2, то подставим в (1) $s = -2 + j\omega$. Тогда уравнение границы D-разбиения будет иметь вид:

$$K_0(\omega) = \frac{T_1 T_M (-2 + j\omega)^3 + (T_1 + T_M) (-2 + j\omega)^2 + (1 + K_{\partial y}^\beta K_1 K_{\partial y} K_{\partial} K_P) (-2 + j\omega)}{-K_{\partial y}^\beta K_{\partial y} K_{\partial} K_P}$$

$$K_0(\omega) = \frac{0.006(-2 + j\omega)^3 + 0.32(-2 + j\omega)^2 + 6.6(-2 + j\omega)}{-5.6}. \quad (3.1.2)$$

Граница области D-разбиения построена в MATHCAD и показана на рисунке 6.

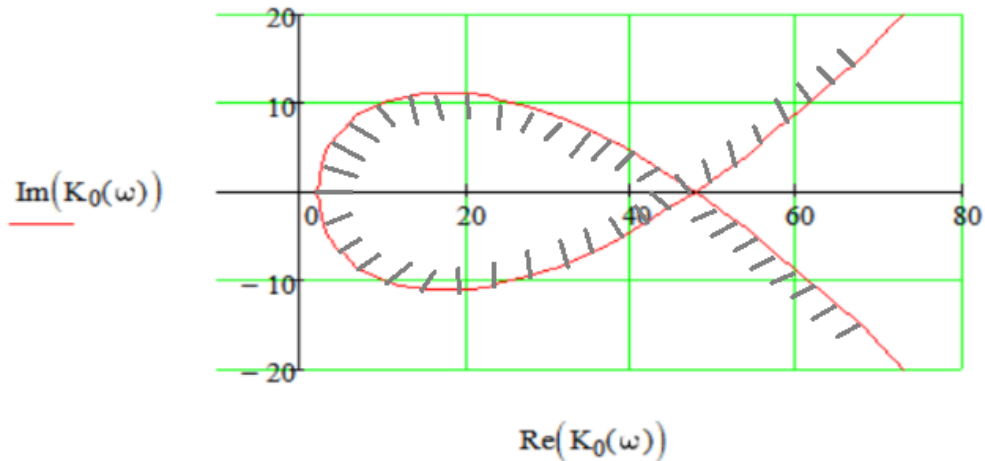


Рисунок 6 — Граница области D-разбиения K_0 , при котором СС имеет заданную степень устойчивости, равную 2.

Из рисунка 6 определяем, что СС имеет заданную степень устойчивости, равную 2, если $2,14 < K_0 < 47,7$.

3.2 Синтез стационарной следящей системы на основе D-разбиения и метода доминирующих полюсов

Пусть характеристический полином следящей системы имеет вид

$$\sum_{i=1}^r k_i A_i(p) + B(p) = 0, \quad (3.2.1)$$

где k_i , $j = 1, 2, \dots, r$ – искомые параметры, обеспечивающие желаемое качество работы следящей системы, $A_i(p)$, $j = 1, 2, \dots, r$, $B(p)$ – полиномы.

Чтобы l доминирующих полюсов системы расположились в заданных

точках, необходимо не менее l параметров регулятора. Если $r > l$, то можно также расположить и остальные (свободные) полюсы системы. Например, чтобы они располагались в заданной области в соответствии с принципом доминирования.

На рисунке 7 показаны различные варианты расположения областей свободных полюсов. Их граница описывается следующим образом

$$X(j\omega) = -\delta(\omega) + j\omega, \quad -\infty < \omega < \infty, \quad (3.2.2)$$

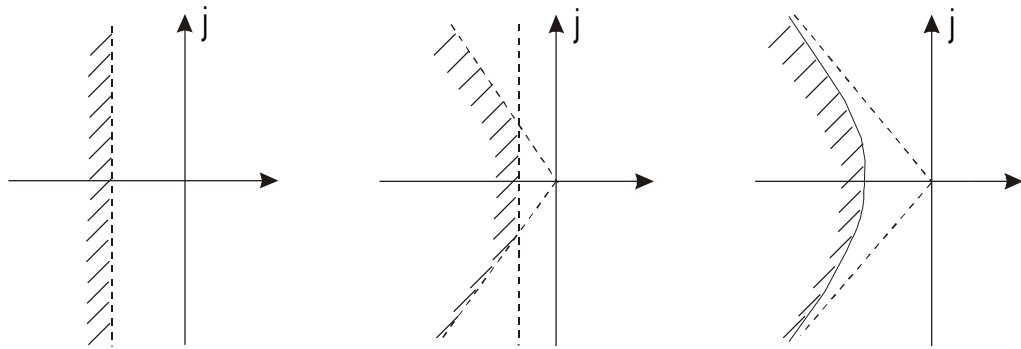


Рисунок 7

Пусть число r искоемых параметров регулятора в (3.2.1) больше числа l заданных доминирующих полюсов. Искомые параметры регулятора k_1, k_2, \dots, k_r разобьем на две части. В первую внесем так называемые свободные параметры. Ими будем размещать свободные полюсы методом D-разбиения.

Поскольку метод D-разбиения применяется для поиска одного или двух параметров системы, то количество c свободных параметров регулятора должно быть не более двух. На основании метода D-разбиения граница свободных полюсов (3.2.2) отображается в пространство свободных параметров и по ее образу строится область свободных параметров регулятора.

Во вторую часть искоемых параметров регулятора включим l параметров. Они называются зависимыми, так как их значения находятся после определения свободных параметров, исходя из требования принятия l доминирующими полюсами системы предписанных значений. То есть, вектор $\bar{g} = (k_1, \dots, k_r)^T$ искоемых параметров регулятора разбивается на два: вектор $\bar{g}_1 = (k_1, \dots, k_c)^T$ свободных параметров и вектор $\bar{g}_2 = (k_{c+1}, \dots, k_r)^T$ зависимых параметров

регулятора.

На основании изложенного характеристический полином (3.2.1) системы представим в виде

$$\sum_{i=1}^c k_i \cdot A_i(p) + \sum_{i=c+1}^r k_i \cdot A_i(p) + B(p) = 0. \quad (3.2.3)$$

Таким образом, задача размещения полюсов стационарной системы может быть сформулирована следующим образом. Известен характеристический полином системы (3.2.1) степени n . Требуется определить c свободных и l зависимых параметров регулятора, при которых l доминирующих полюсов лежат в заданных точках $\lambda_i, i = 1, \dots, l$, а $n - l$ свободных полюсов располагаются в заданной области слева от границы (3.2.2).

Для $c = r - l = 1$ характеристический полином системы (3.2.3) представим следующим образом

$$k_1 \cdot A_1(p) + \sum_{i=2}^r k_i \cdot A_i(p) + B(p) = 0, \quad (3.2.4)$$

где k_1 – свободный параметр регулятора,

k_2, \dots, k_r – зависимые параметры. При $p = \lambda_j, j = 1, \dots, l$ уравнение (3.2.4) преобразуется в l уравнений:

$$k_1 \cdot A_1(\lambda_j) + \sum_{i=2}^r k_i \cdot A_i(\lambda_j) + B(\lambda_j) = 0, j = 1, \dots, l. \quad (3.2.5)$$

Они связывают искомые параметры регулятора $k_i, i = 1, \dots, r$ с заданными доминирующими полюсами $\lambda_j, j = 1, \dots, l$.

Запишем (3.2.5) в матричном виде

$$Q_{11}(\lambda) \cdot k_1 + Q_{12}(\lambda) \cdot \bar{g}_2 = R_1(\lambda), \quad (3.2.6)$$

где

$$Q_{11}(\lambda) = \begin{bmatrix} A_1(\lambda_1) \\ \dots \\ A_1(\lambda_l) \end{bmatrix}; \quad Q_{12}(\lambda) = \begin{bmatrix} A_2(\lambda_1) & \dots & A_r(\lambda_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ A_2(\lambda_l) & \dots & A_r(\lambda_l) \end{bmatrix};$$

$$g_2 = \begin{bmatrix} k_2 \\ \dots \\ k_r \end{bmatrix}; \quad R_1(\lambda) = \begin{bmatrix} -B(\lambda_1) \\ \dots \\ -B(\lambda_l) \end{bmatrix}.$$

Для расположения свободных полюсов системы левее границы (3.2.2) при одном свободном параметре регулятора k_1 применим метод D-разбиения [4].

Для этого в (3.2.4) подставим $p = -\delta(\omega) + j\omega$ и получим

$$k_1 \cdot A_1(-\delta(\omega) + j\omega) + \sum_{i=2}^r k_i \cdot A_i(-\delta(\omega) + j\omega) + B(-\delta(\omega) + j\omega) = 0. \quad (3.2.7)$$

Запишем уравнение (3.2.7) в матричном виде

$$Q_{21}(\omega) \cdot k_1 + Q_{22}(\omega)g_2 = R_2(\omega), \quad (3.2.8)$$

где

$$Q_{21}(\omega) = A_1(-\delta(\omega) + j\omega), \quad (3.2.9)$$

$$Q_{22}(\omega) = [A_2(-\delta(\omega) + j\omega) \quad \dots \quad A_r(-\delta(\omega) + j\omega)]; \quad (3.2.10)$$

$$R_2(\omega) = -B(-\delta(\omega) + j\omega). \quad (3.2.11)$$

Для нахождения выражения для границы D-разбиения соединим уравнения (3.2.6) и (3.2.8) в одну систему:

$$\begin{cases} Q_{11}(\lambda) \cdot k_1 + Q_{12}(\lambda) \cdot g_2 = R_1(\lambda) , \\ Q_{21}(\omega) \cdot k_1 + Q_{22}(\omega)g_2 = R_2(\omega) . \end{cases} \quad (3.2.12)$$

Из первого уравнения находим

$$g_2 = Q_{12}^{-1}(\lambda) \cdot R_1(\lambda) - Q_{12}^{-1}(\lambda) \cdot Q_{11}(\lambda) \cdot k_1. \quad (3.2.13)$$

Если подставить (3.2.5) во второе уравнение системы (3.9), то можно найти уравнение границы D-разбиения:

$$k_1(\omega) = \frac{R_2(\omega) - Q_{22}(\omega) \cdot Q_{12}^{-1}(\lambda) \cdot R_1(\lambda)}{Q_{21}(\omega) - Q_{22}(\omega) \cdot Q_{12}^{-1}(\lambda) \cdot Q_{11}(\lambda)} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega). \quad (3.2.14)$$

Задавая значения ω от $-\infty$ до ∞ , находим границу D-разбиения. Она выделяет на плоскости k_1 области, которые соответствуют желаемому размещению свободных полюсов системы. После нахождения значения параметра k_1 из полученной области на основании (3.2.13) определяются искомые значения зависимых параметров k_2, \dots, k_r .

Применим этот метод к рассматриваемой в работе СС. Пусть $T_M=0.2, K_d = 2$. Требуется расположить доминирующий полюс СС в точке $(-2; j0)$, а остальные полюсы расположить левее вертикальной прямой, проходящей через точку $(-10; j0)$.

Подставим в полученный характеристический полином исследуемой СС $s = -2$:

$$0.02 \cdot 0.2 \cdot (-2)^3 + (0.02 + 0.2) \cdot (-2)^2 + (1 + K_1 \cdot 20 \cdot 0.008 \cdot 2 \cdot 25) \cdot (-2) +$$

$$K_0 \cdot 20 \cdot 0.008 \cdot 2 \cdot 25 = 0 \quad (3.2.15)$$

И выразим K_0 через K_1

$$K_0 = 0.144 + 2K_1 \quad (3.2.16)$$

Подставим (3.2.16) в (1.4.2). Зададим уравнение границы области свободных полюсов $s(\omega) = -10 + j\omega$ и получим уравнение границы D-разбиения:

$$K_1(\omega) = - \frac{0.004 \cdot (-10 + j\omega)^3 + 0.22 \cdot (-10 + j\omega)^2 + (-10 + j\omega) + 1.152}{8 \cdot (-10 + j\omega) + 16} \quad (3.2.17)$$

Граница области D-разбиения построена в MATHCAD и показана на рис.

8.

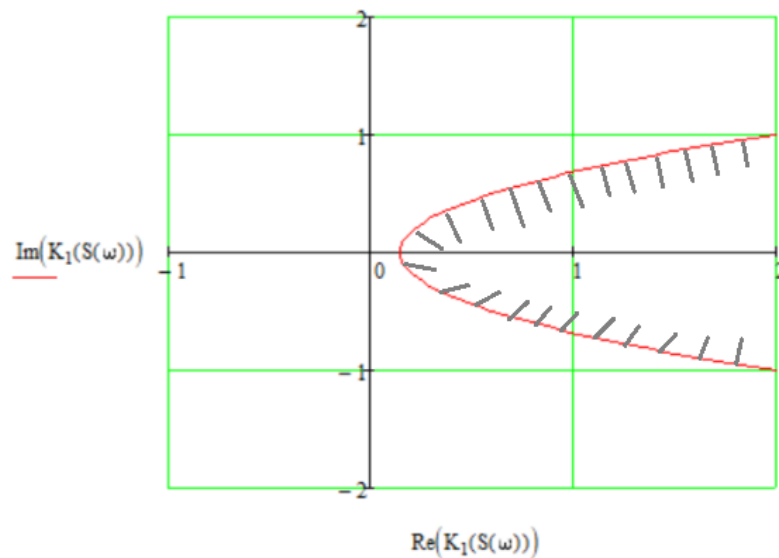


Рисунок 8—Граница области D-разбиения K_1 .

Из рисунка 8 определяем, что свободные полюсы будут лежать левее вертикальной прямой, проходящей через точку $(-10; j0)$, если $K_I > 0,15$. Для проверки найдем полюсы СС при $K_I = 1$:

$$0.004s^3 + 0.22s^2 + 9s + 17.152 = 0$$

$$s_1 = -2; s_2 = -26.5 - 37.97i; s_3 = -26.5 + 37.97i$$

Если $K_I = 10$:

$$0.004s^3 + 0.22s^2 + 81s + 161.152 = 0$$

$$s_1 = -2; s_2 = -26.5 - 139i; s_3 = -26.5 + 139i$$

Если $K_I = 100$:

$$0.004s^3 + 0.22s^2 + 801s + 1601.152 = 0$$

$$s_1 = -2; s_2 = -26.5 - 447i; s_3 = -26.5 + 447i$$

Таким образом, выбором параметра K_I на основе предложенной методики в СС обеспечено расположение доминирующего полюса в точке $s = -2$, а всех свободных полюсов - левее границы $s(\omega) = -10 + j\omega$.

4 Синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами

Пусть в СС имеется интервальный параметр $T_M = [0.1; 0.2]$ и $K_0 = 2$.

Подставим в (1.4.2) $T_M = [0.1; 0.2]$ и получим интервальный характеристический полином исследуемой СС:

$$0.02[0.1; 0.2]s^3 + (0.02 + [0.1; 0.2]) \cdot s^2 + (1 + 8K_1)s + 8K_0 = 0 \quad (4.1)$$

Пусть требуется расположить доминирующий полюс в отрезке $s \in [-5; -4]$, а свободные полюсы - левее границы $s = -10 + j\omega$. По аналогии с методикой расположения доминирующих полюсов стационарной СС вначале разделим параметры ПИ-регулятора на свободный параметр K_I и зависимый параметр K_0 . Подставим в (6) интервал допустимых значений доминирующего полюса $s \in [-5; -4]$

$$0.02[0.1; 0.2][-5; -4]^3 + (0.02 + [0.1; 0.2])[-5; -4]^2 + (1 + 8K_1)[-5; -4] + 8K_0 = 0 \quad (4.2)$$

Для дальнейших вычислений воспользуемся правилами интервальной математики:

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

После вычислений в (4.2) всех интервалов по приведенным выше правилам получим выражение зависимого параметра от свободного

$$K_0 = [-0,1715 ; 0,4475] + [4; 5] K_1 \quad (4.3)$$

На основании (4.3) зададим зависимость

$$K_0 = 0,375 + 4 K_1 \quad (4.4)$$

Тогда для построения границы D-разбиения по параметру регулятора K_1 подставим (4.4) в характеристическое уравнение (4.1) и получим интервальное уравнение границы D-разбиения:

$$K_1(\omega) = - \frac{[0.002;0.004](-10+j\omega)^3 + [0.12;0.22](-10+j\omega)^2 + (-10+j\omega) + 3}{8(-10+j\omega) + 32} \quad (4.5)$$

Отличие этого уравнения от уравнения для стационарной системы заключается в наличии интервалов у коэффициентов полинома. Известно, что степень устойчивости и колебательность системы с интервальными параметрами определяются при крайних значениях этих параметров. Поэтому строить границы D-разбиения будем при крайних значениях параметра $T_M = [0.1;0.2]$. Тогда уравнения границ D-разбиения будут иметь вид :

$$K_1(\omega) = - \frac{0.002(-10+j\omega)^3 + 0.12(-10+j\omega)^2 + (-10+j\omega) + 3}{8(-10+j\omega) + 32} \quad (4.6)$$

$$K_1(\omega) = - \frac{0.004(-10+j\omega)^3 + 0.22(-10+j\omega)^2 + (-10+j\omega) + 3}{8(-10+j\omega) + 32} \quad (4.7)$$

По выражениям (4.6) и (4.7) построены и приведены на рисунках 9 и 10 графики границ областей D-разбиения по параметру K_I .

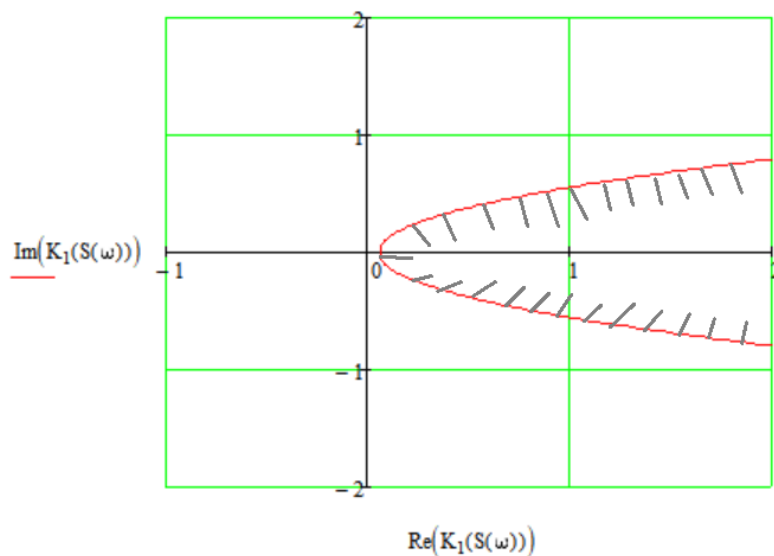


Рисунок 9—Граница области D -разбиения по K_I для (4.6).

Из рисунка 9 определяем, что свободные полюсы СС будут лежать левее вертикальной прямой, проходящей через точку $(-10; j0)$, если $K_I > 0,06$.

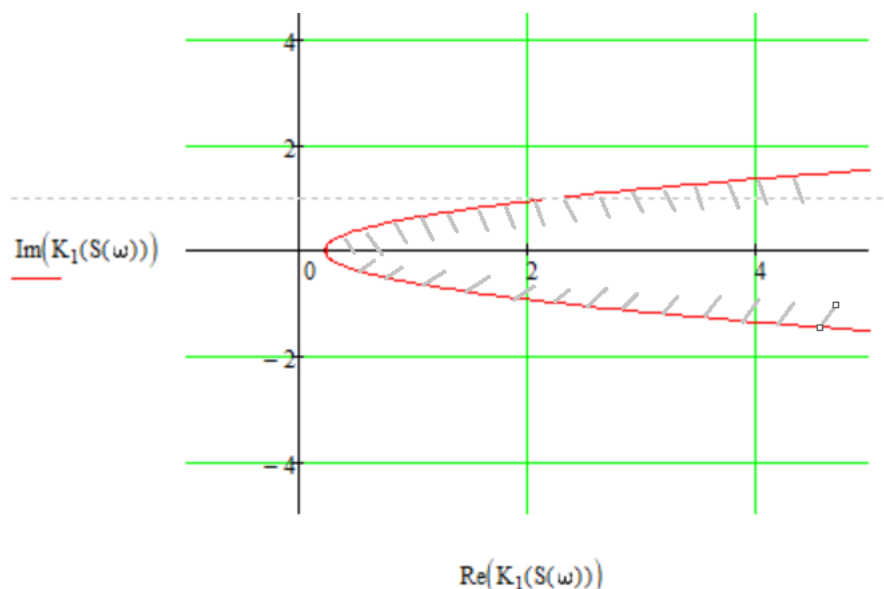


Рисунок 10—Граница области D -разбиения по K_1 для (4.7).

Из рисунка 10 определяем, что свободные полюсы будут лежать левее вертикальной прямой, проходящей через точку $(-10; j0)$, если $K_1 > 0,2$.

Из графиков на рисунках 9 и 10 выбираем значение свободного параметра $K_1 = 0,5$, которое удовлетворяет обоим условиям. Зависимый параметр K_0 находим из выражения (4.4). Получаем $K_0 = 2,375$.

С найденными параметрами ПИ-регулятора интервальный характеристический полином исследуемой СС имеет вид:

$$[0.002; 0.004]s^3 + [0.12; 0.22]s^2 + 5s + 19 = 0. \quad (4.8)$$

Для проверки результатов параметрического синтеза ПИ-регулятора СС на рисунке 11 построен интервальный корневой годограф системы с интервальным параметром $T_M = [0.1; 0.2]$ и найденными значениями параметров регулятора.

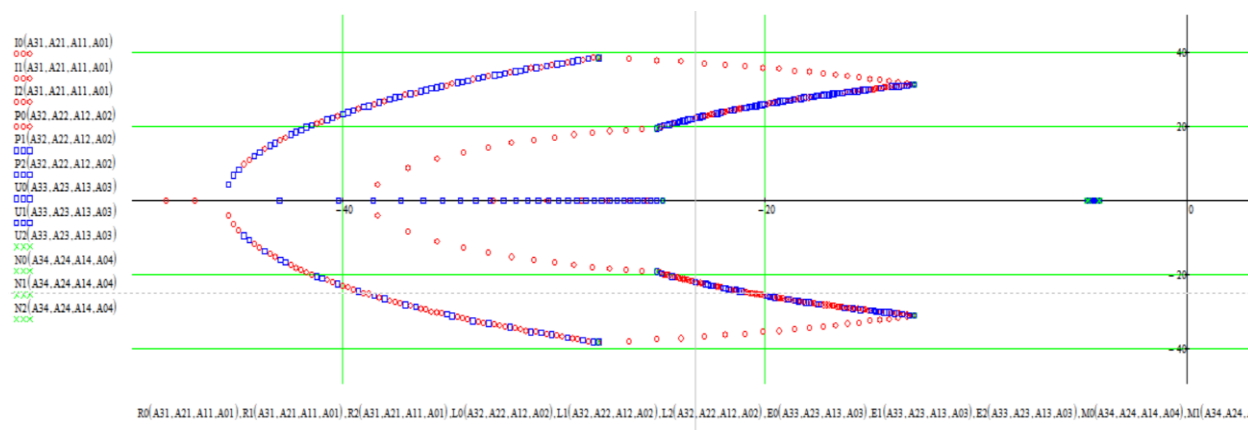


Рисунок 11—Интервальный корневой годограф СС

По рисунка 11 видно, что СС имеет доминирующий полюс на вещественном отрезке $[-5;-4]$. При этом все свободные полюса расположены левее линии, проходящей через точку $(-10,j0)$. Таким образом, выполнены все требования к качеству работы СС.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель работы – синтез регулятора следящей системы, который обеспечивает желаемое расположение ее полюсов на основе принципа доминирования. В процессе выполнения работы использовался математический аппарат интервального анализа, метод D-разбиения и метод доминирующих полюсов.

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.

5.1 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 3.

Таблица 3 – 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%

Продолжение таблица 3

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

5.1.1 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} .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{3}, \quad (5.1)$$

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

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

Для выполнения перечисленных в таблице 4 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:

$$t_{pд} = \frac{t_{ож}}{k_{BH}} \cdot k_D \quad (5.2)$$

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

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

K_D – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_D = 1.2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{KD} = T_{pд} \cdot T_K \quad (5.3)$$

где $T_{pд}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

T_{KD} – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (5.4)$$

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

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

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

$$T = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1.205 \quad (5.5)$$

В таблице 4 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 4 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					T _{РД}		T _{КД}	
		t _{min}	t _{max}	t _{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 аperiodической степени устойчивости								
Расчет модели, приведение полученных результатов	И	14	20	16,4	1,39	19,68	1,67	23,69
Оформление методикисинтеза регулятора	И	5	7	5,8	-	6,96	-	8,39
Экономическое обоснование								

Продолжение таблицы 4

Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	3	5	3,8	-	4,56	-	5,49
<i>Анализ опасных и вредных производственных факторов</i>								
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	1	2	1,4	-	1,68	-	2,02
<i>Документирование</i>								
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

5.1.2 Расчет накопления готовности работ

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

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{ОБЩ}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{ОБЩ}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (5.6)$$

где $TP_{общ.}$ – общая трудоемкость проекта;

$TP_i(TP_k)$ – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i=1, I$;

TP_iH – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

$TP_{ij} (TP_{kj})$ – трудоемкость работ выполняемых j -м участником на i -м этапе,

здесь $j=1, m$, – индекс исполнителя, $m = 2$.

Результаты вычислений отражены в таблице 5.

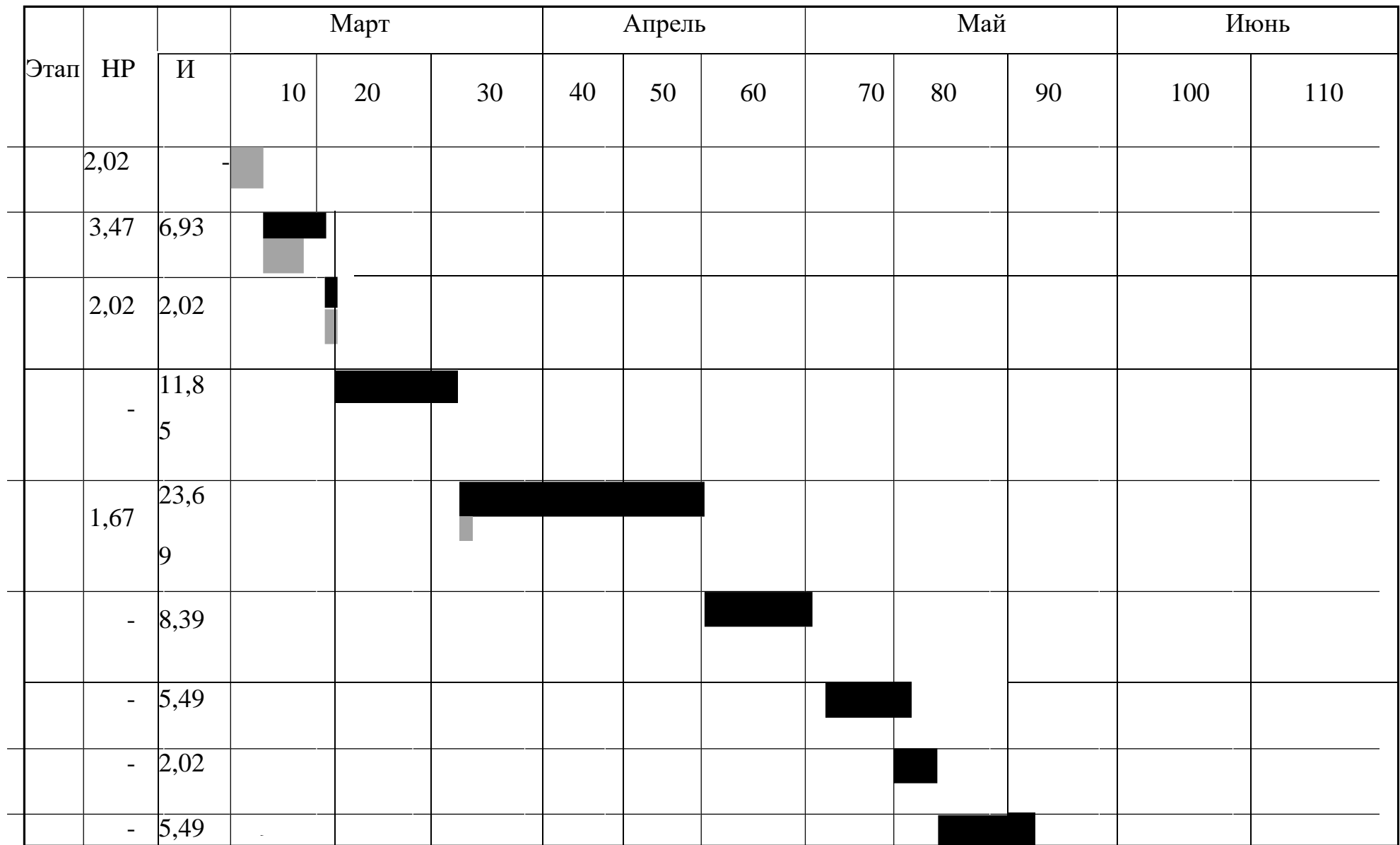
Таблица 5 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_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

Продолжение таблицы 5

Оформление графического материала	5,53	94,93
Подведение итогов	5,07	100

Таблица 6 – Линейный график работ.



Продоржение таблицы 6

	-	5,49												
	2,02	2,02												

HP –



H –



—

5.2 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;
- затрат на специальное оборудование
- амортизационные расходы;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата
- отчисления в внебюджетные фонды;
- затрат на научные и производственные командировки.
- Контрагентные расходы

5.2.1 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 7.

Таблица 7 – Расходные материалы

<i>Наименование материалов</i>	<i>Цена за ед., руб.</i>	<i>Количество</i>	<i>Сумма, руб.</i>
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

$$C_{\text{мат}} = 220 \cdot 1,05 = 231 \text{ рубль.} \quad (5.7)$$

5.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Специальное оборудование, необходимое для проведения ВКР –компьютер (ПК, монитор, клавиатура, компьютерная мышь, либо ноутбук и компьютерная мышь) общей стоимостью 60000 руб.

Таблица 8— Перечень затрат на специальное оборудование

Наименование	Кол-во, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Компьютер	1	60000	60000
Всего за материалы			60000

5.2.3 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:

$$C_{\text{АМ}} = H_A \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot t \cdot n \quad (5.8)$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A=33,3\%$;

$C_{\text{ОБ}}$ – цена оборудования, $C_{\text{ОБ}} = 40000\text{руб}$;

t – срок службы компьютера, $t = 3$ года;

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

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{\text{АМ}} = 33,3\% \cdot 60000 \cdot 3 \cdot 1 = 60000 \text{ руб.}$$

5.2.4 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:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/24.83 \quad (5.9)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 8. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце 28 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 6. 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 $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$.

Таблица 9 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23264,86	936,97	9	1,699	14327,21
И	7915	318,77	73	1,699	39536,09
Итого:					53863,3

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

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

5.2.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при

предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$C_{дон} = K_{дон} \cdot C_{осн} \quad (5.10)$$

где $K_{дон}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$C_{дон} = K_{дон} \cdot C_{осн} = 53863,3 \times 0,12 = 6364,6 \text{ руб.}$$

5.2.6. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = K_{внеб}(C_{осн} + C_{дон}) \quad (5.11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2019 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019 году водится пониженная ставка – 28%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 10).

Таблица 10— Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная плата, т. р.	Доп. Плата, т. р.
	И1	И1
НР	14327,21	1719,27
И	39536,09	4744,33
Коэф.Отчислений	0,28	

Продолжение таблицы 10

Итого	
И1	(14327,21+39536,09+1719,27+4744,33*0,28=16891,5. руб.

5.2.7. Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

Там нет связанных сборов за наш проект.

5.2.8. Контрагентные расходы

Наш проект - программа без контрагентных расходов.

5.2.9. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} \times \frac{1}{7}) \cdot K_{\text{нр}}, \quad (5.12)$$

где $K_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.2.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 11 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб
--------------	------------

Продолжение таблицы 11

1. Фин. затраты	220
2. Расходы на спец. Оборуд.	60000
3. Амортизационные расходы	60000
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	53863,3
5. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6364,6
6. Отчисления во внебюджетные фонды	16891,5
7. Затраты на научные и производственные командировки	0
8. Контрагентские расходы	0
9. Накладные расходы	4196,61
10. Бюджет затрат НТИ	187798.372

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

Интегральный фин. показатель эффективности [3]:

$$I_{fin}^{isp} = \frac{\Phi_{\pi\pi}}{\Phi_{\max}} \quad (5.13)$$

$\Phi_{\pi\pi}$ – стоимость и-го варианта создания

Φ_{\max} – максимальный показатель стоимости научного исследования

$$I_{fin}^{isp} = \frac{\Phi_{\pi\pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{187798.372}{187798.372} \approx 1 \quad (5.14)$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл.5.3.4.10.2).

Таблица 12 — Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5
4. Энергосбережение	0,20	4
5. Надежность	0,25	4
6. Материалоемкость	0,15	4
ИТОГО	1	3.94

$$I_{p-исп1} = 5*0,1+4*0,15+5*0,15+4*0,2+4*0,25+5*0,05+4*0,01=3,94$$

Таблица 13 — Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1
	Интегральный финансовый показатель разработки	0.814
	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.4
	Интегральный показатель эффективности	5.406
	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в

бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

6 Социальная ответственность

Целью выпускной квалификационной работы является синтез регулятора следящей системы с интервальными параметрами на основе D -разбиения и метода доминирующих полюсов, а также изучение применяемых при этих 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.

Синтез следящей системы с интервальными параметрами на основе D -разбиения и метода доминирующих полюсов выполняются с использованием персонального компьютера и принтер в замкнутом помещении в условиях искусственного освещения. Таким образом, меры по минимизации последствий проектируемой деятельности должны включать в себе составление режима работ на персональном компьютере, организацию перерывов и проветриваний. Кроме того, существует необходимость мер по обеспечению электробезопасности, а также защиты от чрезвычайных ситуаций.

6.1 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)°.

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.

6.2 Производственная безопасность

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

Таблица 14. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	<p>Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы.</p> <p>Например, требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[59].</p>
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

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

Далее более подробно рассмотрим данные опасные и вредные факторы.

6.2.1 Отклонение параметров микроклимата

Требования к параметрам микроклимата определяются согласно СанПиН 2.2.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [38].

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 15.

Таблица 15. 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.

6.2.2 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 16 согласно [33] указаны предельные уровни звука в зависимости от категории тяжести и напряженности труда, являющиеся безопасными в отношении сохранения здоровья и работоспособности

Таблица 16– Предельные уровни звука, дБ, на рабочих местах

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень 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.

6.2.3 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 $E_n = 1,2 \text{ К.Е.О.}$
- Минимальная освещенность при использовании ПЭВМ составляет $E_m = 300 \text{ лк.}$
- 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 блескостность 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.

6.2.4 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 17

Таблица 17. 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

Продолжение таблицы 17

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.

6.2.5 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 нетокведущим 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.

6.3 Экологическая безопасность

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

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудногорючих 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 пожаробезопасности 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.

6.5 Вывод

В данном разделе были рассмотрены правовые нормы трудового законодательства применительно к условиям проекта, приведены основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке

рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды.

Помимо этого, были проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при эксплуатации проектируемого решения, а после чего выработаны решения, которые могут обеспечить снижение влияния этих факторов на работающих.

Проведен краткий анализ возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при эксплуатации станка, после чего разработаны превентивные меры по предупреждению возникновения этих ЧС, а также порядок действия в случае если все-таки возникли.

Заключение

Разработанный в ВКР подход дает простую процедуру определения значений параметров ПИ-регулятора следящей системы, обеспечивающих расположение доминирующих полюсов на заданном отрезке вещественной оси и локализацию остальных полюсов в заданной области комплексной плоскости.

Процедура основана на разделении параметров регулятора на свободный и зависимый и их последовательном нахождении с использованием правил интервальной математики и метода D-разбиения. Границы областей D-разбиения для желаемого расположения свободных полюсов строятся при крайних значениях интервального параметра следящей системы. Свободный параметр регулятора выбирается из области их пересечения.

Для проверки результатов параметрического синтеза ПИ-регулятора построен интервальный корневой годограф следящей системы, который подтверждает желаемое расположение полюсов системы.

Список используемой литературы

1. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю. А. Борцов, Н. Д. Поляхов, В. В. Путов. - Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1984. - 215 с. : ил. - Библиогр.: с. 210-213 (75 назв.). - Б. ц.
2. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. Учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. - Москва : Машиностроение, 1985. - 535 с. : ил. - (Для вузов). - Библиогр.: с. 527-528. - (в пер.) : Б. ц.
3. Следящие системы и регуляторы : [Учеб. пособие для вузов по спец. "Автоматика и телемеханика"] / А. А. Ахметжанов, А. В. Кочемасов, 288, [1] с. ил. 21 см, М. Энергоатомиздат 1986.
4. Петров Б.Н., Соколов Н.И., Липатов А.В. и др. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза. – М.: Машиностроение, 1986. – 256с.
5. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического управления. Учебное пособие / –Новосибирск: Изд-во НГТУ. –2006. –368 с.
6. Вадутов, О.С. Решение задачи размещения полюсов системы методом D–разбиения / О.С. Вадутов, С.А. Гайворонский // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2004. – № 5. – С. 23-27.
7. Гусев, Ю.М. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы). Анализ с использованием интервальных характеристических полиномов / Ю.М. Гусев, В.Н. Ефанов, В.Г. Крымский // Техническая кибернетика. – 1991. – № 1 – С. 3-30.
8. Неймарк, Ю.И. Робастная устойчивость и D-разбиение / Ю.И. Неймарк // Автоматика и телемеханика. – 1992. – № 7. – С. 10-18.
9. Петров, Н.П. Робастное D–разбиение / Н.П. Петров, Б.Т. Поляк // Автоматика и телемеханика. – 1991. – № 11. – С. 41-53.
10. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов. В 2 ч. Ч. 1. Теория

- линейных систем автоматического управления / Н.А. Бабанов, А.А. Воронов, А.А. Воронова, Г.Д. Дидук, Н.М. Дмитриева, Д.П. Ким, Б.М. Менский, П.Н. Попович; Под ред. А.А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 367 с.
11. Скворцов Л.М. Синтез линейных систем методом полиномиальных уравнений // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1991. № 6. С. 54-59.
12. Скворцов Л.М. Интерполяционный метод решения задачи назначения доминирующих полюсов при синтезе одномерных регуляторов // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1996. № 4. С. 10-13.
13. Скворцов Л.М. Интерполяционный метод решения задачи назначения доминирующих полюсов при синтезе многомерных регуляторов // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1997. № 1. С. 31-34.
14. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. – М.: Наука, 1978. – 336с.
15. Райцын Т.М. Синтез систем автоматического управления методом направленных графов. – Л.: Энергия, 1970. – 96 с.
16. Удерман Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматического управления. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963- 112 с.
17. Неймарк, Ю.И. Область робастной устойчивости и робастность по нелинейным параметрам // ДАН. 1992. Т.325, № 3. -С.438-440.
18. Неймарк, Ю.И. Робастная устойчивость линейных систем // ДАН. 1991. Т. 319. № 3. -С.578-580.
19. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления. -М.: Энергоиздат, 1984.
20. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов. ~М.: Энергоиздат, 1982.
21. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. - М.: Энергоиздат, 1984.
22. Ротач В.Я. Расчет настройки реальных ПИД регуляторов // Теплоэнергетика. 1993. №10.

23. Ротач В.Я. К расчету систем автоматического регулирования со вспомогательными информационными каналами методом многомерного сканирования // Теплоэнергетика. 2001. №11 .
24. Добронев Б. С. Интервальная математика: Учеб. пособие / «СФУ», — Красноярск, 2007. —287 с.
25. 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.
26. Домбровский В.В. Синтез динамических регуляторов пониженного порядка при ограничениях // Автоматика и телемеханика., 1996. № 11. – С. 10–
27. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: полиномиальный метод синтеза двухканальной системы // Сб. науч. тр. НГТУ, 2009. № 4(58). – С. 121–124.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. Скворцов Л.М. Синтез линейных систем методом полиномиальных уравнений // Автоматика и телемеханика, 1991. № 6. – С. 54–59.
32. 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.

- 33.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.
34. Эйлер, Л., Труды С. - Петербургской академии наук. –1765. – Том XIII.
35. Мееров, М.В. Критерий апериодичности регулирования // Известия АН СССР. Отд. Техн. Наук, 1945. № 12. – С. 10-17.
36. Удерман, Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматических систем – М.: Наука, 1972. – С. 448 .
37. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
38. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
39. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).
40. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.