

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки: 27.04.04 Управление в технических системах

Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Обеспечение максимального быстродействия каналов регулирования подводного аппарата в условиях интервальной параметрической неопределенности

УДК 681.516.7:629.58.016.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	ЦЗЭН ВЭНЬ		

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	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.	Скаковская Н.В.	К.Ф.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н. А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по направлению 27.04.04 Управление в технических системах

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	Профессиональные
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.

	$K_S = 1$ -передаточный коэффициент датчика $T_S = 0.01$ -постоянная времени датчика (можно сделать интервальным, если не хватает интервальных параметров) $k = [0; 2]$ -коэффициент интервальной линеаризаций (интервальный) $\rho=100$ -плотность воды $V = 0.02$ -водоизмещение ПА $v = 2$ -скорость ПА $m = [18; 25]$ -масса ПА (интервальный) $J_x = 0.78$ -моменты инерции корпуса ПА $c_x = [1.2; 1.7]$ -гидродинамические коэффициенты НПА (интервальный)
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Изменение степени устойчивости системы внутри параметрического многогранника.</p> <p>Применение математического программирования для решения задачи максимизации степени устойчивости САУ.</p> <p>Обеспечение максимального быстродействия каналов регулирования подводного аппарата.</p> <p>Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>Социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в формате *.pptx на 14 слайдах</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основная часть</p>	<p>Доцент ОАР ИШИТР, к.т.н. Гайворонский Сергей Анатольевич</p>

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.ф.н. Скаковская Н.В.
Социальная ответственность	Ассистент ООД ШБИП Алексеев Н. А.
Английский язык	Доцент ОИЯ, к.п.н. Сидоренко Т.В.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Цзэн Вэнь		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: 27.04.04 Управление в технических системах
 Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники
 Уровень образования: магистратура
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2019	Основная часть	75
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
22.05.2019	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пушкарев М.И.	к.т.н, доцент		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа		ФИО	
8AM71		Цзэн Вэнь	
Школа	ИШИТР	Отделение школы(НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 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		Материально-технические ресурсы: разработка проекта (131200р); компьютер (57000р); канцелярские товары (450р); энергетические ресурсы: электрическая энергия (696р); человеческие ресурсы: инженер и научный руководитель.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов		Нормативные документы: Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии"	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования		Положения ФЗ РФ No212 от 24 июля 2009 г. «О страховых взносах в пенсионный фонд Российской Федерации, фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»; Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений (27,1% - отчисления во внебюджетные фонды).	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ		1. Потенциальные потребители результатов исследования. 2. Анализ конкурентных технических решений. 3. Оценки перспективности проекта по технологии SWOT. 4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.	
2. Разработка устава научно-технического проекта		Составление устава научно-технического проекта. Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок		1. Расчет материальных затрат НТИ. 2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. 3. Основная заработная плата исполнителей темы. 4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы. 5. Отчисление во внебюджетные фонды 6. Прочие расходы	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности		Анализ интегральных показателей эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 2. Итоговая матрица SWOT-анализа 3. Морфологическая матрица альтернативных решений 4. Календарный план-график выполнения проекта 5. Сравнительная эффективность разработок 	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Скаковская Наталья Вячеславовна.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Цзэн Вэнь		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 8AM71	ФИО Цзэн Вэнь
------------------------	-------------------------

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	27.04.04 Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Обеспечение максимального быстродействия каналов регулирования подводного аппарата в условиях интервальной параметрической неопределенности
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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. 	Организация рабочего места осуществляется в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Выявленные вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – нарушение параметров микроклимата – повышение шума – недостаточное освещение – электромагнитные излучения Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> – опасность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС; – разработка решений по обеспечению экологической безопасности
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар. <ul style="list-style-type: none"> – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н. А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Цзэн Вэнь		

РЕФЕРАТ

ВКР включает в себя 96 страниц текста, 11 рисунков, 23 таблиц, 1 приложения, 42 литературных источников.

Ключевые слова: подводный аппарат, канал регулирования, интервальная параметрическая неопределенность, максимальное быстродействие системы, характеристический полином.

Цель работы: определение настроек регуляторов каналов управления подводного аппарата на основе критерия максимального быстродействия.

Объект исследования - система управления движением подводного аппарата.

Тема ВКР связана с управлением подводными аппаратами, которое в настоящее время является актуальным и активно развивается во всем мире.

В процессе выполнения работы проведен анализ изменения степени устойчивости системы внутри параметрического многогранника. Рассмотрено применение математического программирования для решения задачи максимизации степени устойчивости САУ. Разработана методика максимизации степени устойчивости в САУ с интервально-неопределенными параметрами. Построена математическая модель системы управления подводного аппарата и проведен параметрический синтез регулятора. Построены переходные процессы с использованием Matlab.

Рассмотрены вопросы финансового менеджмента, эффективности использования ресурсов и защиты ресурсов. Были использованы основы и опыт в области управления проектами и финансами, включая управление рисками, управление изменениями в области обучения в смежных областях.

Выполнено задание по разделу «Социальная ответственность». Проанализированы проектируемая технология, рабочие места на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, оценена степень их воздействия на человека, окружающую среду.

Оглавление

Введение.....	14
1 Постановка задачи.....	16
2 Изменение степени устойчивости системы внутри параметрического многогранника	17
3 Применение математического программирования для решения задачи максимизации степени устойчивости САУ	23
3.1 Максимизация степени устойчивости стационарных САУ.....	23
3.2 Максимизация степени устойчивости в САУ с интервально-неопределенными параметрами.....	27
4 Обеспечение максимального быстродействия каналов регулирования подводного аппарата.....	32
4.1 Построение математических моделей подводного аппарата	32
4.2 Параметрический синтез регулятора	35
5 Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	41
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	42
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	42
5.1.2 SWOT-анализ.....	44
5.2 Организация и планирование работ	46
5.3 Продолжительность этапов работ	47
5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	52
5.4.1 Расчет затрат на ПО	52
5.4.2 Расчет основной заработной платы.....	53
5.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	54
5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	55
5.4.5 Прочие расходы.....	56
5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	56
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	57

6 Социальная ответственность	61
6.1 Производственная безопасность.....	61
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	61
6.1.2 Микроклимат	62
6.1.3 Шум	64
6.1.4 Недостаточная освещенность	65
6.1.5 Расчет искусственного освещения	66
6.1.6 Электромагнитные излучения	67
6.1.7 Электробезопасность	69
6.1.8 Психофизиологические факторы	70
6.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)	71
6.3 Экологическая безопасность.....	72
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
Заключение	78
Список исползуемой литературы	79
Приложение А	83

Введение

Задачи создания систем управления, свойства которых мало изменялись бы при небольших отклонениях их параметров от расчетных возникали уже в начале развития теории автоматического управления. В настоящее время теория робастного управления является одной из интенсивно развивающихся ветвей теории управления, возникшей из проблемы синтеза многорежимных линейных систем управления, функционирующих в условиях различного рода возмущений и изменений параметров.

Существует большое количество методов синтеза систем автоматического управления, позволяющих осуществить обоснованный выбор структуры и параметров системы, которая бы удовлетворяла условиям, заданным заранее. Но большинство имеющихся методов синтеза предназначены для стационарных систем с постоянными параметрами. Однако в реальных условиях работы системы, параметры объекта управления в процессе эксплуатации изменяются в широких пределах. Для таких САУ актуальна задача параметрического синтеза линейных регуляторов, обеспечивающих работоспособность системы при любых возможных изменениях интервально - неопределенных параметров объектов управления. Вследствие этого сейчас имеют перспективу развития методы синтеза систем, не являющихся адаптивными, но обеспечивающих приемлемое качество работы при изменении статических характеристик воздействий в широком диапазоне, а также при неустойчивости параметров объекта управления. Такие системы называют робастными. Синтез робастных систем допускает использование различных методов и различных подходов, и может проводиться на основе различных критериев, например: на основе критерия максимальной степени устойчивости на основе критерия минимизации или ограничения колебательности, также может быть просто найдена область устойчивости системы или максимизирована эта область.

Среди подходов можно выделить метод D - разбиения, параметрический синтез на основе методов оптимизации. В данной же работе рассматривается попытка применить к синтезу робастных регуляторов методику, использующую методы математического программирования предложенную, для синтеза стационарных САУ в [6] и основанную на критерии максимизации степени устойчивости. Проблема заключается в применении данного подхода для САУ с интервально - неопределенными параметрами, которые на основе гипотезы «формального замораживания коэффициентов» можно рассматривать как многорежимные. За счет применения этой методики должен значительно упроститься сам процесс синтеза, и уменьшиться его трудоемкость. Методика в своей основе использует связь между степенью устойчивости и параметрами настройки динамического регулятора, осуществляемую с помощью характеристического полинома.

1 Постановка задачи

В ряде промышленных САУ параметры управляемого объекта в процессе функционирования системы изменяются по априори неизвестным законам, но в известных диапазонах. Для таких САУ актуальна задача параметрического синтеза линейных регуляторов, обеспечивающих работу системы при любых возможных изменениях интервально-неопределенных параметров объекта.

Согласно [1,2], при проектировании систем с изменяющимися параметрами наиболее целесообразно использовать критерий максимальной степени устойчивости. При этом представляет интерес методика оценки устойчивости системы с интервально-неопределенными коэффициентами характеристического полинома [3], которая основана на максимизации минимальной степени устойчивости в некоторой вершине параметрического многогранника, образованного граничными значениями коэффициентов полинома. Использование такого многогранника при известных интервалах неопределенности параметров объекта приведет к занижению значения степени устойчивости САУ, т.к. область реального изменения коэффициентов полинома определяется входящими в эти коэффициенты интервально неопределенными параметрами объекта и располагается внутри указанного многогранника. При этом она отображается в пространство интервально-неопределенных параметров объекта в виде некоторой области P_T , которая и может быть использована при выборе оптимальных параметров линейного регулятора САУ.

В большинстве существующих на эту тему исследований ставятся и с помощью различных критериев и процедур решаются задачи получения или максимизации области устойчивости системы P_T . Отличие же постановки задачи в данной работе будет заключаться в попытке найти соответствующие настройки регулятора, обеспечивающие максимально возможную степень устойчивости α системы в наихудшем режиме функционирования и более высокую степень устойчивости во всех остальных возможных режимах функционирования в пределах области P_T .

2 Изменение степени устойчивости системы внутри параметрического многогранника

Основным математическим описанием системы является ее передаточная функция, но в силу того, что в данном исследовании интерес представляет нахождение степени устойчивости, ограничимся лишь характеристическим полиномом системы.

Примем, что характеристический полином САУ с интервально-неопределенными параметрами объекта и линейным регулятором имеет вид:

$$D(s) = a_n \cdot (T, K) \cdot s^n + a_{n-1} \cdot (T, K) \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot (T, K) \cdot s + a_0 \cdot (T, K) \quad (2.1)$$

где $T = \|T_j\|$ - вектор интервально-неопределенных параметров объекта,

$$T_{jmin} \leq T_j \leq T_{jmax}, j=1/m;$$

$K = \|K_n\|$ - вектор настраиваемых параметров регулятора.

Так как интервально - неопределенные параметры объекта заданы граничными значениями, то область P_T , внутри которой вектор T может изменяться произвольным образом, представляет собой параметрический многогранник $P_T = \{T_j | T_{jmin} \leq T_j \leq T_{jmax}, j = 1/m\}$, содержащий 2^m вершин. Например, для системы с двумя интервально-неопределенными параметрами параметрический многогранник будет иметь вид прямоугольной области (рисунок 1).

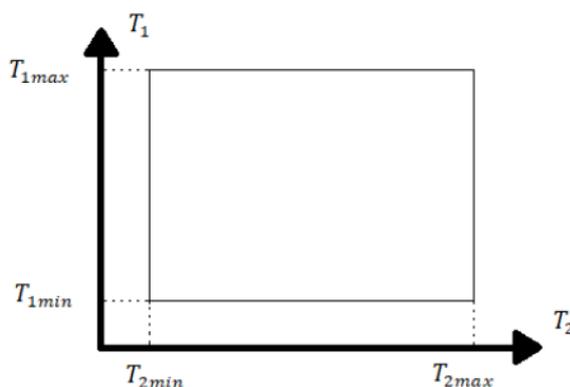


Рисунок 1 - Параметрический многогранник

В силу необходимости исследования всех 2^m вершин параметрического многогранника возникает необходимость использования гипотезы,

формального замораживания коэффициентов, что приводит к необходимости исследования не одного, а 2^m характеристических полиномов, имеющих одинаковый общий вид, но содержащих различные значения параметров, являющихся интервально-неопределенными.

Как уже говорилось ранее, работа предполагает рассмотрение методики оценки устойчивости системы с интервально-неопределенными коэффициентами характеристического полинома, основанной на максимизации минимальной степени устойчивости системы в вершинах параметрического многогранника, образованного граничными значениями коэффициентов полинома. При этом область реального изменения коэффициентов полинома определяется входящими в эти коэффициенты интервально-неопределенными параметрами объекта и располагается внутри параметрического многогранника, отображаясь в пространство интервально - неопределенных параметров объекта в виде некоторой области P_T , используемой при выборе оптимальных параметров линейного регулятора САУ.

Пусть характеристический полином САУ с интервально-неопределенными параметрами объекта и линейным регулятором имеет вид:

$$D(s) = a_n \cdot (T, K) \cdot s^n + a_{n-1} \cdot (T, K) \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot (T, K) \cdot S + a_0 \cdot (T, K) \quad (2.2)$$

Тогда при условии $a_n \cdot (T, K) \neq 0$, он может быть представлен в следующем виде:

$$D(s) = S^n + b_n \cdot (T, K) \cdot S^{n-1} + \dots + b_2 \cdot (T, k) \cdot S + b_1 \cdot (T, K) \quad (2.3)$$

где $b_i \cdot (T, K) = a_{i-1} \cdot \frac{T, K}{a_n} \cdot (T, K), i = 1 \div m$

Так как m параметров объекта заданы граничными значениями, то область P_T , внутри которой вектор T может изменяться произвольным образом, представляет собой параметрический многогранник:

$$P_T = \{T_j | T_{jmin} \leq T_j \leq T_{jmax}, j = 1 \div m\} \quad (2.4)$$

содержащий 2^m вершин. Обозначим вектор вершин этого многогранника через T^B . Используя гипотезу “формального замораживания” коэффициентов (2.1) при условии несущественного изменения переменных параметров за время

переходного процесса, рассмотрим САУ как многорежимную систему. Синтез параметров регулятора в этом случае предполагает нахождение таких его настроек, которые гарантируют заданные показатели качества в наихудшем режиме. Под наихудшим режимом САУ будем понимать такой набор значений интервально-неопределенных параметров объекта, при которых степень устойчивости η системы минимальна. При определенных условиях для нахождения наихудшего режима нет необходимости сканировать всю область внутри многогранника P_T , а достаточно лишь проверить его вершины T^B . Действительно согласно [4] для характеристического полинома (2.2) функция $\eta = \eta(b_n, \dots, b_1)$ обладает свойством выпуклости по переменным b_i в диапазоне $[b_{imin}; b_{imax}]$ минимум указанной функции обеспечивается крайними значениями коэффициентов b_i . Если зависимости $b_i(T_j)$, $i = 1 \div n$, $j = 1 \div m$ являются монотонными функциями на интервалах $[T_{imin}, T_{imax}]$, то крайние значения переменных параметров T_j объекта соответствуют крайним значениям коэффициентов b_i полинома (2.1). Следовательно, функция η принимает минимальные значения при крайних значениях T_j , являющихся координатами вершин T^B параметрического многогранника P_T (2.2).

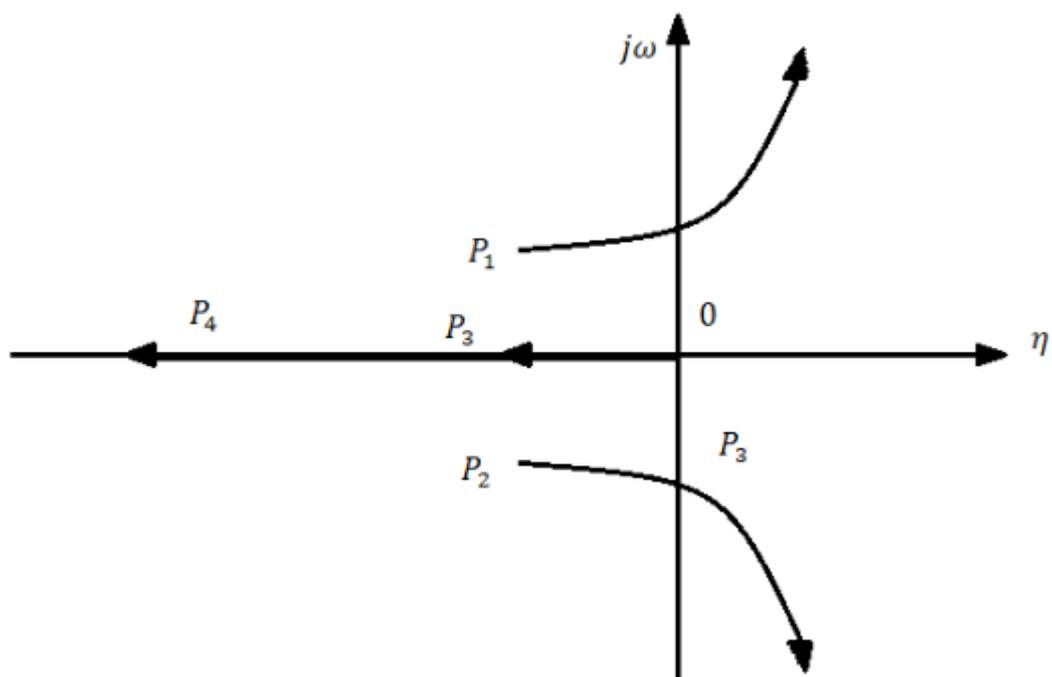
Для нахождения оптимальных значений параметров K линейного регулятора необходимо решить задачу: осуществить максимизацию по K наихудшего значения степени устойчивости η_{min} в вершинах T^B параметрического многогранника P_T :

$$\eta_{min} = \min_{T^B} \eta(T^B, K) \rightarrow \max_K \quad (2.5)$$

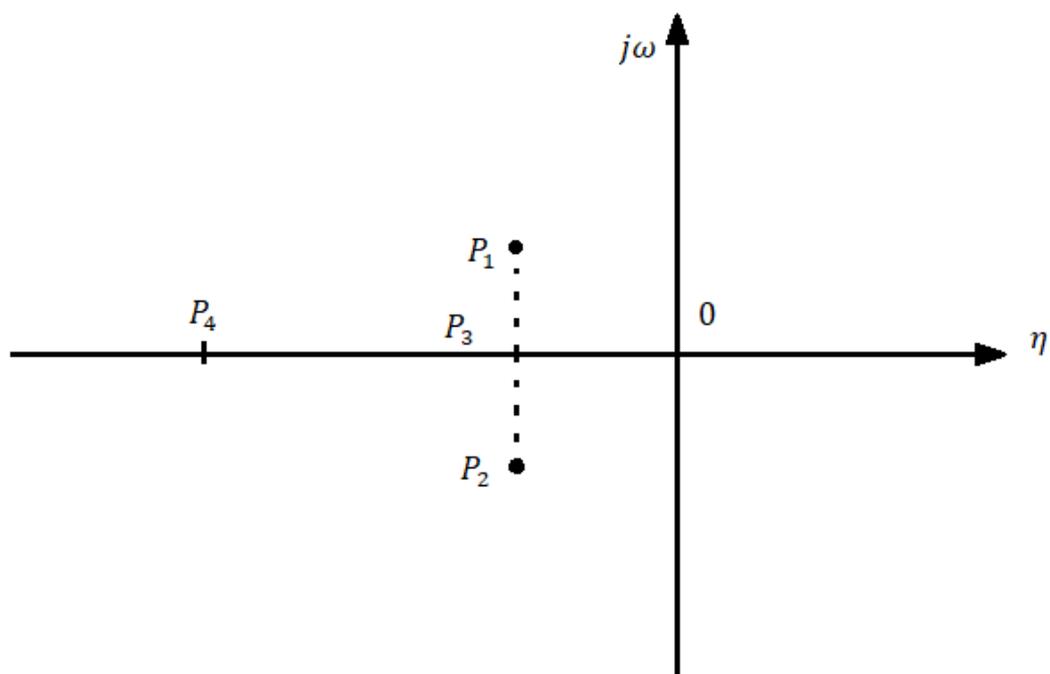
Известно, что для успешного решения оптимизационной задачи важно знать характер целевой функции. Если характеристический полином САУ имеет вид (2.1), то функция $\eta(K)$ во всех режимах является унимодальной при условии монотонности зависимостей $b_i(K_n)$, $i = 1 \div n$, $n = 1 \div l$. Действительно, по аналогии с интервально-неопределенными параметрами объекта для любого диапазона изменения настраиваемого параметра регулятора минимальная степень устойчивости САУ будет при одном из его крайних

значений. Поэтому у степени устойчивости системы в любом режиме нет локальных максимумов, также как их нет и у целевой функции. А, следовательно, максимум степени устойчивости находимый в процессе оптимизации всегда является единственным- искомым.

Единственность максимума степени устойчивости можно хорошо отразить, приведя корневой годограф, являющийся, по сути, схемой перемещения корней характеристического полинома системы при изменении ее настроечных параметров. В качестве примера приведем схематично (без расчета конкретной системы) корневой годограф устойчивой системы четвертого порядка из [5] (рисунок 2а). Здесь видно , что при движении корня P_3 по вещественной оси от 0 к $-\infty$, до определенного момента происходит рост степени устойчивости одновременно корни P_1 и P_2 сдвигаются в противоположном направлении, т.е. по направлению к мнимой оси, тем самым ограничивая рост степени устойчивости определенной величиной. Корень P_4 в то же время сдвигается в сторону $-\infty$, а следовательно особого влияния на величину максимальной степени устойчивости не оказывает. Исходя из этого можно сделать вывод, что в идеальном случае максимум величины степени устойчивости достигается в тот момент когда все корни P_1 , P_2 и P_3 оказываются на одной линии.



a)



б)

а) Корневой годограф системы четвертого порядка;

б) Достижение оптимума степени устойчивости.

Рисунок 2 - Корневой годограф

После прохождения корнями уровня оптимального значения степени устойчивости происходит уменьшение величины степени устойчивости и

одновременно резкое увеличение колебательности, т.к. ближайшей к мнимой оси становится пара комплексно-сопряженных корней. Исходя из этих соображений, можно однозначно утверждать, что функция степени устойчивости унимодальна, т.е. имеет только один единственный максимум.

3 Применение математического программирования для решения задачи максимизации степени устойчивости САУ

3.1 Максимизация степени устойчивости стационарных САУ

В [6] рассматривается семейство задач математического программирования, условия связи в которых являются комплексными функциями, аналитическими относительно переменной S . И для таких задач находятся необходимые условия оптимальности с учетом сведений из теории функции комплексной переменной. Кроме того, показывается, что задача о достижении в линейной динамической системе предельной степени устойчивости может быть формализована аналогичным образом, что позволяет в ряде простейших практически важных случаев получить аналитические выражения, которые могут быть использованы при параметрическом синтезе робастных и адаптивных систем управления.

Методы математического, в частности линейного программирования, широко используются при решении ряда важных прикладных задач [7]. Одна из таких задач-параметрический синтез динамических систем при ограничениях, налагаемых на расположение корней характеристического уравнения. Вопрос о выборе оптимальных параметров динамической системы, исходя из заданных критериев, привлекает значительное внимание исследователей [8,9]. Ниже покажем, что постановка задачи нелинейного программирования с условиями -связями, включающими функции комплексного переменного, позволяет получить необходимые условия оптимальности, которые могут быть использованы при решении задач параметрического синтеза динамических систем по критерию предельной (максимальной) степени устойчивости и ряда других задач.

Рассмотрим класс задач математического программирования, в которых ограничения включают в себя функцию комплексной переменной: $S = \eta + j\omega$. Постановка задачи:

$$f_0(x) \rightarrow \max \quad (3.1)$$

При условиях: 1) $F(x, s) = 0$, 2) $x \in V_x \subset R_n$, 3) $S \notin V_s, j^2 = -1$.

В постановке (2) $f_0(x)$ – вещественная функция, зависящая от вещественного вектора x , функция $F(\cdot)$, вошедшая в уравнение связи (1), является комплексной. Будем считать, что обе эти функции непрерывны и непрерывно - дифференцируемы по x , и $F(\cdot)$ при каждом x - аналитическая функция относительно S .

Отметим, что постановка задачи (2.1) в общем случае может включать связи вида $f_i(x) = 0$, однако их наличие никак не сказывается на особенностях задачи, поэтому для простоты выкладок такие условия, рассматривать не будем. Задача (2.1) относится к задачам нелинейного программирования [7], однако имеет специфический характер, обусловленный наличием комплексной переменной и функциями от нее. Ниже показано, что к подобному виду приводит формализация некоторых важных прикладных задач из области синтеза систем управления.

Специфический характер задачи состоит в том, что при записи уравнения связи в форме равенства нулю вещественной и мнимой составляющих функции F , эти два равенства независимы и их левые части связаны друг с другом уравнениями Коши - Риммана.

Приведем необходимые условия оптимальности и расчетные соотношения, необходимые для формализации задачи. Для этого представим комплексную функцию $F(x, S)$ в традиционной форме в виде суммы вещественной $R(x, \eta, \omega)$ и мнимой $I(x, \eta, \omega)$ составляющих.

$$F(x, S) = R(x, \eta, \omega) + jI(x, \eta, \omega) \quad (3.2)$$

Условие (1) в таком случае распадается на два:

$$R(x, \eta, \omega) = 0 \quad (3.3)$$

$$I(x, \eta, \omega) = 0 \quad (3.4)$$

Отметим, что условия (3.2), (3.3) не являются независимыми. Кроме того, $R(\cdot)$ -четная, а $I(\cdot)$ - нечетная функция относительно аргумента ω .

Для решения задачи (3.1) с условиями в форме (3.3), (3.4), следует составить функцию Лагранжа [7]:

$$L = \lambda_0 \cdot f_0(x) + \lambda_1 \cdot R(x, \eta, \omega) + \lambda_2 I(x, \eta, \omega) \quad (3.5)$$

где λ_0, λ_1 и λ_2 -множители Лагранжа. Применение теорем Куна-Таккера позволяет записать необходимые условия оптимальности рассматриваемой задачи:

$$\frac{dL}{dx} = 0 \Rightarrow \lambda_0 \cdot \frac{\partial f_0(x)}{\partial x} + \lambda_1 \cdot \frac{\partial R(\cdot)}{\partial x} + \frac{\lambda_2 \partial I(\cdot)}{\partial x}; \quad (3.6)$$

$$\frac{dL}{d\eta} = 0 \Rightarrow \lambda_1 \cdot \frac{\partial R(\cdot)}{\partial \eta} = \frac{-\lambda_2 \partial I(\cdot)}{\partial \eta}; \quad (3.7)$$

$$\frac{dL}{d\omega} = 0 \Rightarrow \lambda_1 \cdot \frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = \frac{-\lambda_2 \partial I(\cdot)}{\partial \omega}. \quad (3.8)$$

Специфичность поставленной задачи позволяет отказаться от традиционной схемы решения. Вместо этого целесообразно получить дополнительные условия, не содержащие λ - множителей, и затем добавить эти условия в исходную постановку.

С этой целью рассмотрим условия (3.3), (3.4). Вид вошедших в (3.3), (3.4) уравнений дает основания для вывода об инвариантности оптимального решения к знаку ω . Другими словами, если (3.3,3.4) выполняются при $\omega^* = \omega^0$, то они должны выполняться и при $\omega^* = -\omega^0$. Действительно, выражение (3.3) при изменении знака ω не изменяется, а в (3.4) только знак, что не нарушает этого равенства.

Рассмотрим выражение (3.8). Сразу можно отметить, что $(\partial R(\cdot)/\partial \omega)$ - нечетная, а $(\partial I(\cdot)/\partial \omega)$ - четная функции от ω . Условие (3.8) позволяет сделать следующий вывод:

Утверждение 1: На оптимальном решении выполнены условия вида:

$$\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = 0; \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega} = 0. \quad (3.10)$$

Доказать это утверждение можно следующим образом: Предположим, что при $\omega = \omega^0$

$$\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = M \neq 0 \Rightarrow \frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega} = K \cdot M \neq 0 \quad (3.11)$$

где $K = -\lambda_2/\lambda_1 \neq 0$ - коэффициент пропорциональности между $(\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega})$ и $(\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega})$ из (2.7). Тогда при $(\omega = -\omega^0 \frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = -M)$ в силу нечетности $(\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega})$ и $(\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega} = K \cdot M)$ в силу четности $(\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega})$. Таким образом получаем, что на оптимальном решении $(M = -M)$, откуда следует, что M должно быть равным нулю. Тем самым утверждение доказано.

Теперь воспользуемся теоремой Коши – Римана [10] связывающей между собой частные производные от аналитической функций комплексной переменной по вещественному и мнимому аргументам:

$$\frac{\partial R(x, \eta, \omega)}{\partial \omega} = -\frac{\partial I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta}; \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = -\frac{\partial I(x, \eta, \omega)}{\partial \omega}; \quad (3.13)$$

Объединяя (3.9) и (3.13) получаем:

$$\frac{\partial R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = 0; \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = 0. \quad (3.15)$$

Выражения (3.14), (3.15) представляют собой дополнительные условия, которые следует добавить в исходную постановку задачи (3.1). В зависимости от размерности x может оказаться, что полученная система уравнений (3.3), (3.4), (3.14), (3.15) позволит сразу определить решение задачи, т.е. значения η^* , ω^* , x^* . В противном случае для вновь получившейся задачи с добавленными ограничениями:

$$f_0(x) \rightarrow \max_{x, \eta, \omega} \quad (3.16)$$

При условиях (3.3), (3.4), (3.12), (3.13) следует вновь выписать необходимые условия оптимальности. При этом полезно учесть, что производные $\partial R(\cdot)/\partial \eta$, $\partial I(\cdot)/\partial \eta$, $\partial R(\cdot)/\partial \omega$, $\partial I(\cdot)/\partial \omega$ также связаны уравнениями Коши-Римана. После несложных математических получаем:

$$\frac{\partial^2 R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta^2} = 0; \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial^2 I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta^2} = 0. \quad (3.18)$$

Условия (3.17), (3.18) следует также добавить в постановку задачи. Подобная процедура должна быть продолжена до тех пор, пока полученная система уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} R(x, \eta, \omega) = 0; I(x, \eta, \omega) = 0; \\ \frac{\partial R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = 0; \frac{\partial I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = 0; \\ \frac{\partial^2 R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta^2} = 0; \frac{\partial^2 I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta^2} = 0. \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \end{array} \right. \quad (3.19)$$

Не позволит определить η^* , ω^* , x^* . Для решения системы потребуется $(n+2)$ уравнения из (2.19) возможно лишь для некоторых простейших случаев. Вообще же решение следует получать численными методами, при этом полезно использовать особенности уравнений, входящих в (3.19), для конкретных задач.

3.2 Максимизация степени устойчивости в САУ с интервально-неопределенными параметрами

Приведенную в главе 2 методику максимизации степени устойчивости стационарных САУ, можно применить и к системам с интервально-неопределенными параметрами. Как уже говорилось выше, синтез параметров регуляторов в этом случае предполагает нахождение такие его настроек, которые гарантируют заданные показатели качества в наихудшем режиме. Под наихудшим режимом САУ понимается такой набор значений интервально-неопределенных параметров объекта, при которых степень устойчивости α системы минимальна. При определенных условиях для нахождения наихудшего режима нет необходимости сканировать всю область внутри многогранника P_T , а достаточно лишь проверить его вершины T^B . Поэтому для систем с интервально-неопределенными параметрами встает необходимость проведения

процедуры максимизации степени устойчивости в каждой из вершин параметрического многогранника. В дальнейшем необходима процедура поиска наихудшего из всех существующих режимов (система рассматривается как многорежимная). Настройки регулятора должны обеспечить большую, чем в наихудшем режиме, степень устойчивости во всех остальных режимах функционирования системы. Т.е. необходимость решения максиминной задачи:

$$\eta_{min} = \min_{T^B} \eta(T^B, K) \rightarrow \max_K. \quad (3.20)$$

Исходя из всех приведенных в предыдущих разделах фактов, процедуру синтеза рабастного регулятора с одним настроечным параметром можно формализовать следующим образом:

- 1) Если в качестве исходных данных, имеется структура исследуемой системы, необходимо получить для нее характеристический полином замкнутой системы. Именно характеристический полином замкнутой системы, включающей регулятор и объект управления, является исходным материалом для проведения процедуры синтеза. Кроме того, необходимо выявить возможные интервалы варьирования интервально-неопределенных параметров и возможно даже несколько расширить их, чтобы иметь полную уверенность в справедливости расчетов, и в дальнейшем не прийти к необходимости повторения процедуры поиска оптимального режима функционирования системы.
- 2) Имея в качестве исходных данных характеристический полином замкнутой системы и, зная вид его коэффициентов, включающих в себя, определенным образом, известные, интервально - неопределенные и настроечный параметры, составить необходимые условия оптимальности для каждой из вершин параметрического многогранника. Эти условия оптимальности будут представлять собой 2^m (по числу вершин параметрического многогранника) систем уравнений из (2.18). Т.е. характеристический полином представляем в виде суммы вещественной $R(X, \eta, \omega)$ и мнимой $I(X, \eta, \omega)$

составляющих, и составляем систему уравнений. Содержащую равенства нулю вещественной и мнимой составляющих, равенство нулю систему уравнений, содержащую равенства нулю вещественной и мнимой составляющих, равенство нулю хотя бы одной из производных от вещественной или мнимой составляющей, и дополненную, в соответствии с числом переменных, необходимым для разрешения системы числом уравнений-равенств нулю производных различного порядка от вещественной и мнимой составляющих. Для регулятора с одним настроечным параметром условия оптимальности будут выглядеть следующим образом:

$$i = 1 \div 2^m \begin{cases} R(X_i, \eta_i, \omega_i) = 0; \\ I(X_i, \eta_i, \omega_i) = 0; \\ \frac{\partial R(X_i, \eta_i, \omega_i)}{\partial \eta_i} = 0. \end{cases} \quad (3.21)$$

где X_i - настроечный параметр регулятора в i -том режиме функционирования системы;

i - количество режимов (или соответственно количество вершин параметрического многогранника, т.к. система рассматривается как многорежимная).

3) Разрешив эту систему I - раз, в соответствии с числом режимов функционирования системы, получаем i -настроек регулятора, обеспечивающих максимальную степень устойчивости системы в каждом из режимов. Далее необходимо выбрать режим с наименьшей степенью устойчивости, т.е. наихудший режим функционирования САУ.

4) Получив наихудший режим, проверим, какова степень устойчивости системы в остальных режимах функционирования при настройках наихудшего режима. Если во всех других режимах степень устойчивости, при настройках наихудшего режима, выше чем в наихудшем режиме, то процесс синтеза можно считать окончанным,

и полученная для наихудшего режима настройка, обеспечит в заданном интервале варьирования интервально-неопределенных параметров, степень устойчивости системы во всех остальных возможных режимах не меньшую, чем в наихудшем режиме.

- 5) Если же, хотя бы в одном из режимов функционирования системы, степень устойчивости при настройках, обеспечивающих наихудший режим, получается меньшей, чем в наихудшем режиме, то полученный режим нельзя считать наихудшим. В этом случае, наихудший режим будет находиться в точке пересечения двух кривых отражающих изменение степени устойчивости системы с изменением параметра настройки регулятора в двух различных режимах. Встает проблема определения тех двух кривых, которые дадут, в точке пересечения настройку регулятора, обеспечивающую во возможных режимах функционирования системы более высокую степень устойчивости, чем в этой точке пересечения. Решить эту проблему можно либо построив эти кривые и получив точку пересечения графически, либо найдя точки пересечения всех пар кривых степени устойчивости решением системы уравнений вида:

$$\begin{cases} R(X, \eta, \omega_1) = 0; \\ I(X, \eta, \omega_1) = 0; \\ R(X, \eta, \omega_2) = 0; \\ I(X, \eta, \omega_2) = 0. \end{cases} \quad (3.22)$$

где $R(X, \eta, \omega_1)$, $I(X, \eta, \omega_1)$ - вещественная и мнимая составляющие характеристического полинома описывающего один режим, а $R(X, \eta, \omega_2)$, $I(X, \eta, \omega_2)$ - вещественная и мнимая составляющие характеристического полинома описывающего второй режим. Из всех полученных точек пересечения необходимо выбрать ту, настройки в которой дадут наибольшую степень устойчивости при условии обеспечения более высокой степени устойчивости во всех остальных режимах. Получив такую точку, процесс синтеза регулятора можно

считать оконченными, т.к. настройка регулятора, полученная в этой точке, даст во всех возможных режимах функционирования системы степень устойчивости не меньшую, чем в этой точке, предполагающей наихудший режим.

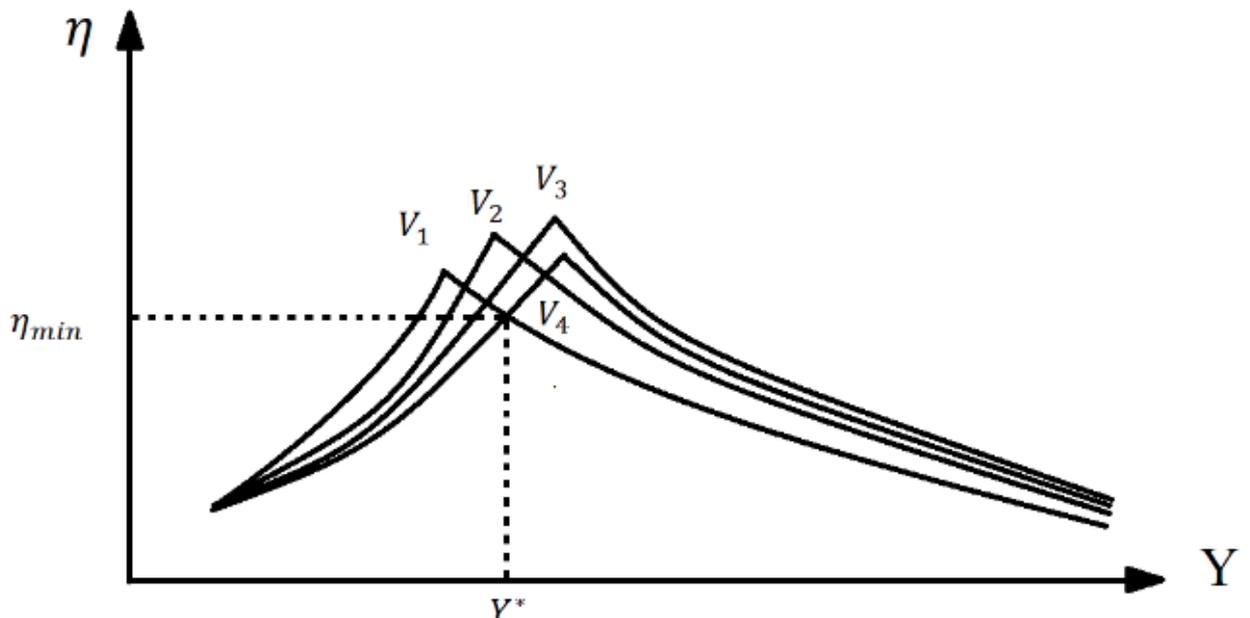


Рисунок 3 - Нахождение оптимальной настройки регулятора

Согласно приведенной последовательности проведения синтеза, составим алгоритм поиска оптимально режима функционирования системы.

4 Обеспечение максимального быстродействия каналов регулирования подводного аппарата

4.1 Построение математических моделей подводного аппарата

Линейное движение подводного аппарата (ПА) вдоль продольной оси X осуществляется за счет работы его маршевых движителей. Со стороны вязкой жидкости такому движению препятствует продольная гидродинамическая сила.

Дифференциальное уравнение такого движения можно записать следующим образом:

$$(m + \lambda_{11}) \cdot \frac{dv_x}{dt} = T_x - \frac{c_x \cdot \rho \cdot V^{\frac{2}{3}}}{2} \cdot v_x^2 \quad (4.1)$$

где v_x - скорость движения БПА Маршем,

T_x - упор маршевых движителей

c_x - гидродинамический коэффициент силы лобового сопротивления

m - масса БПА

λ_{11} - масса жидкости, сдвигаемой БПА при движении маршем

V - водоизмещение БПА

ρ - плотность воды

Линейное движение подводного аппарата вдоль вертикальной оси Y осуществляется за счет работы его вертикальных движителей. Со стороны вязкой жидкости такому движению препятствует нормальная гидродинамическая сила, вес и архимедова сила БПА.

Дифференциальное уравнение такого движения можно записать следующим образом:

$$(m + \lambda_{22}) \cdot \frac{dv_y}{dt} = T_y - \frac{c_y \cdot \rho \cdot V^{\frac{2}{3}}}{2} \cdot v_y^2 - p + F_A \quad (4.2)$$

где v_y - скорость движения БПА Маршем,

T_y - упор маршевых движителей

c_y - гидродинамический коэффициент силы лобового сопротивления

m - масса БПА

λ_{22} - масса жидкости, сдвигаемой БПА при погружении

V - водоизмещение БПА

ρ - плотност воды

F_A - архимедова сила БПА

P - вес БПА

Математическое моделирование работы ДРК каждой компоновки представляется тривиальной задачей при наличии математической модели движителя. Рассмотрим далее построение математической модели отдельного движителя. Такая модель должна связывать управляющий сигнал. Поступающий на электродвигатель движителя, с упором.

Известно, что упор движителя определяется следующим выражением:

$$T = c_{\partial} \cdot \rho \cdot n^2 \cdot d^4 \quad (4.3)$$

где T - упор движителя

c_{∂} - коэффициент упора гребного винта,

ρ - плотность воды

n - частота вращения винта

d - диаметр винта.

Коэффициент упора гребного винта определяется его конструктивными особенностями, в частности шагом винта, количеством лопастей, а также углом между осью винта и направлением обтекающего его потока жидкости.

Работу электродвигателя движителя опишем с помощью дифференциального уравнения:

$$T_{\partial} \cdot T_M \cdot \frac{d^2 \omega}{dt} + T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_1 \cdot u \quad (4.4)$$

где T_{∂}, T_M - электромагнитная и электромеханическая постоянная двигателя соответственно

ω - частота вращения вала двигателя

K_1 - передаточный коэффициент двигателя по напряжению

u - управляющее напряжение

Зная, что частота вращения винта в радианах и в оборотах в секунду связаны между собой следующим выражением:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (4.5)$$

выразим упор движителя T через частоту ω с помощью (4.2) и подставим полученное выражение в уравнение электродвигателя (4.3). Ввиду того, что современные электродвигатели обладают малыми электромагнитными и электромеханическими постоянными, пренебрежем членом со второй производной частоты ω в левой части уравнения электродвигателя (4.3). С учетом вышесказанного, используя ранее введенные обозначения, получим уравнения, связывающие модуль упора движителя с управляющим напряжением и моментом сопротивления вращению:

$$T_M \cdot \frac{df(T(t))}{dt} + f(T(t)) = K_1 \cdot \sqrt{c_\partial \cdot \rho \cdot d^4} \cdot u \quad (4.6)$$

$$f(T(t)) = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{T(t)} \quad (4.7)$$

Полученная модель описывает квадратичную зависимость между управляющим напряжением электродвигателя движителя и упором движителя.

Полученная передаточная функция канала регулирования по координате X с ПИ-регулятором и интервальными параметрами имеет вид:

$$w_{x_{PI}}(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{d_5 \cdot s^5 + d_4 \cdot s^4 + d_3 \cdot s^3 + d_2 \cdot s^2 + d_1 \cdot s + d_0} \quad (4.8)$$

где $a_2 = 4 \cdot K_P \cdot K_T \cdot T_S$;

$$a_1 = 4 \cdot (K_T \cdot K_P + K_I \cdot K_T \cdot T_S);$$

$$a_0 = 4 \cdot K_I \cdot K_T;$$

$$d_5 = 2 \cdot T_S \cdot T_T \cdot ([m] + \lambda_{11});$$

$$d_4 = 2 \cdot (T_S \cdot [m] + T_T \cdot [m] + T_S \cdot \lambda_{11} + T_T \cdot \lambda_{11}) + [c_x] \cdot T_S \cdot T_T \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot \rho \cdot k;$$

$$d_3 = 2 \cdot ([m] + \lambda_{11}) + [c_x] \cdot T_S \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot \rho \cdot k + [c_x] \cdot T_T \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot \rho \cdot k;$$

$$d_2 = [c_x] \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot \rho \cdot k;$$

$$d_1 = 4 \cdot K_P \cdot K_T \cdot K_S;$$

$$d_0 = 4 \cdot K_I \cdot K_T \cdot K_S;$$

где K_p, K_I - параметры ПИ-регулятора

$K_T = 5$ - передаточный коэффициент двигателя(интервальный)

$T_T = 0.1$ - постоянная времени двигателя

$K_S = 1$ - передаточный коэффициент датчика

$T_S = 0.01$ - постоянная времени датчика (можно сделать интервальным, если не хватит интервальных параметров)

$k = [0; 2]$ - коэффициент интервальной линеаризаций (интервальный)

$\rho=100$ -плотность воды

$V = 0.02$ - водоизмещение ПА

$v = 2$ - скорость ПА

$m = [18; 25]$ - масса ПА(интервальный)

$J_x = 0.78$ - моменты инерции корпуса ПА

$c_x = [1.2; 1.7]$ - гидродинамические коэффициенты НПА(интервальный)

4.2 Параметрический синтез регулятора

Рассмотрим параметрический прямоугольник, образованный интервальными параметрами системы. Он имеет четыре вершины:

1) $[m = 18, c_x = 1.2];$

2) $[m = 18, c_x = 1.7];$

3) $[m = 25, c_x = 1.2];$

4) $[m = 25, c_x = 1.7].$

Для каждой из этих вершин запишем характеристический полином

1) $D_1(s) = 0.0402s^5 + 4.599s^4 + 59.67s^3 + 177s^2 + 20K_p s + 20K_I;$

2) $D_2(s) = 0.0402s^5 + 4.672s^4 + 67.7s^3 + 250s^2 + 20K_p s + 20K_I;$

3) $D_3(s) = 0.0542s^5 + 6.139s^4 + 73.67s^3 + 177s^2 + 20K_p s + 20K_I;$

4) $D_4(s) = 0.0542s^5 + 6.212s^4 + 81.7s^3 + 250s^2 + 20K_p s + 20K_I.$

Найдем для каждой вершины максимальную степень устойчивости и обеспечивающие ее параметры ПИ-регулятора. Для этого составим для каждого полинома систему уравнений (3.20). Пусть $(s = h + jw_1)$.

$$\begin{cases} Re1(h, w_1, K_I, K_P) = 0; \\ Im1(h, w_1, K_I, K_P) = 0; \\ \frac{d}{dh} Re1(h, w_1, K_I, K_P) = 0; \\ \frac{d}{dh} Im1(h, w_1, K_I, K_P) = 0. \end{cases} \quad (4.9)$$

$$1) [m = 18, c_x = 1.2]$$

$$\begin{cases} Re1(h, w_1, K_I, K_P) = 0.0402 \cdot h^5 + 4.599 \cdot h^4 - 0.402 \cdot w_1^2 \cdot h^3 + 177 \cdot h^2 \\ 0.201 \cdot h \cdot w_1^4 - 179.01 \cdot h \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_P \cdot h + 4.599 \cdot w_1^4 - 177 \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_I \\ Im1(h, w_1, K_I, K_P) = w_1 \cdot (0.201 \cdot h^4 + 18.396 \cdot h^3 - 0.402 \cdot h^2 \cdot w_1^2 + 179.01 \cdot h^2 \\ -18.396 \cdot h \cdot w_1^2 + 354 \cdot h + 0.0402 \cdot w_1 - 59.67w_1^2 + 20 \cdot K_P) \end{cases}$$

$$2)[m = 18, c_x = 1.7]$$

$$\begin{cases} Re1(h, w_1, K_I, K_P) = 0.0542 \cdot h^5 + 6.139 \cdot h^4 - 0.542 \cdot h^3 \cdot w_1^2 + 73.67 \cdot h^3 \\ -36.834 \cdot h^2 \cdot w_1^2 + 177 \cdot h^2 + 0.271 \cdot h \cdot w_1^4 - 221.01 \cdot h \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_P \cdot h + \\ 6.139 \cdot w_1^4 - 177 \cdot w_1^2 + 20K_I \\ Im1(h, w_1, K_I, K_P) = w_1 \cdot (0.271 \cdot h^4 + 24.556 \cdot h^3 - 0.542 \cdot h^2 \cdot w_1^2 + 221.01 \cdot h^2 \\ -24.556 \cdot h \cdot w_1^2 + 354 \cdot h + 0.0542 \cdot w_1^4 - 37.67 \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_P) \end{cases}$$

$$3) [m = 25, c_x = 1.2]$$

$$\begin{cases} Re1(h, w_1, K_I, K_P) = 0.0542 \cdot h^5 + 6.139 \cdot h^4 - 0.542 \cdot h^3 \cdot w_1^2 + 73.67 \cdot h^3 - \\ 36.834 \cdot h^2 w_1^2 + 177 \cdot h^2 + 0.271 \cdot h \cdot w_1^4 - 221.01 \cdot h \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_P \cdot h \\ +6.139 \cdot w_1^4 - 177 \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_I \\ Im1(h, w_1, K_I, K_P) = w_1 \cdot (0.271 \cdot h^4 + 24.556 \cdot h^3 - 0.542 \cdot h^2 \cdot w_1^2 + 221.01 \cdot h^2 \\ -24.556 \cdot h \cdot w_1^2 + 354 \cdot h + 0.0542 \cdot w_1^4 - 73.67 \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_P) \end{cases}$$

$$4) [m = 25, c_x = 1.7]$$

$$\begin{cases} Re1(h, w_1, K_I, K_P) = 0.0542 \cdot h^5 + 6.212 \cdot h^4 - 0.542 \cdot h^3 \cdot w_1^2 + 81.7 \cdot h^3 \\ -37.272h^2 \cdot w_1^2 + 250 \cdot h^2 + 0.271 \cdot h \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_P \cdot h + 6.212 \cdot w_1^4 \\ -250 \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_I \\ Im1(h, w_1, K_I, K_P) = w_1 \cdot (0.271 \cdot h^4 + 24.848 \cdot h^3 - 0.542 \cdot h^2 \cdot w_1^2 + 245.1 \cdot h^2 \\ -24.848 \cdot h \cdot w_1^2 + 500 \cdot h + 0.0542 \cdot w_1^4 - 81.7 \cdot w_1^2 + 20 \cdot K_P) \end{cases}$$

Решения этих систем уравнений выполнены в Mathcad и приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 - Характеристики режимов работы САУ

	$[m = 18, c_x = 1,2]$	$[m = 18, c_x = 1,7]$	$[m = 25, c_x = 1,2]$	$[m = 25, c_x = 1,7]$
K_I	3,829	2,284	2,413	5,816
K_P	9,908	10	7,884	14,495
h	-1,163	-0,495	-0,949	-1,255
w_1	0	0	$-2,659 \times 10^{-8}$	0

Подставив K_I, K_P для второй вершины в коэффициенты четырех полиномов, мы получаем их числовые значения (таблица 4.2):

Таблица 4.2 – Характеристики режимов работы САУ

	$[m = 18, c_x = 1,2]$	$[m = 18, c_x = 1,7]$	$[m = 25, c_x = 1,2]$	$[m = 25, c_x = 1,7]$
s^5	76,58	45,676	48,25	116,326
s^4	198,151	200	157,672	289,905
s^3	177	250	177	250
s^2	59,67	67,7	73,67	81,7
s^1	4,599	4,672	6,139	6,212
s^0	0,04	0,04	0,054	0,054

Для каждого из полученных полиномов найдем корни и запишем их в таблице 4.3:

Таблица 4.3 - Упорядочить значение по функции polyroot

$[m = 18, c_x = 1,2]$	$[m = 18, c_x = 1,7]$	$[m = 25, c_x = 1,2]$	$[m = 25, c_x = 1,7]$
-99,994	-99,994	-99,997	-99,994
-10,776	-11,031	-10,423	-10,853
-1,307	-4,203	$-0,952 + 5,205i$ $\times 10^{-3}$	$-1,259 + 6,793i$ $\times 10^{-3}$
-1,166	-0,495	$-0,952 + 5,205i$ $\times 10^{-3}$	$-1,259 + 6,793i$ $\times 10^{-3}$
-1,161	-0,495	-0,943	-1,247

Из таблицы 4.3 видим, что когда $K_I = 2.284, K_P = 10$, $[m = 18, c_x = 1.7]$, h является минимальным.

Построим в Matlab переходные процессы в канале управления ПА при $K_I = 2.284, K_P = 10$ для всех четырех режимов работы.

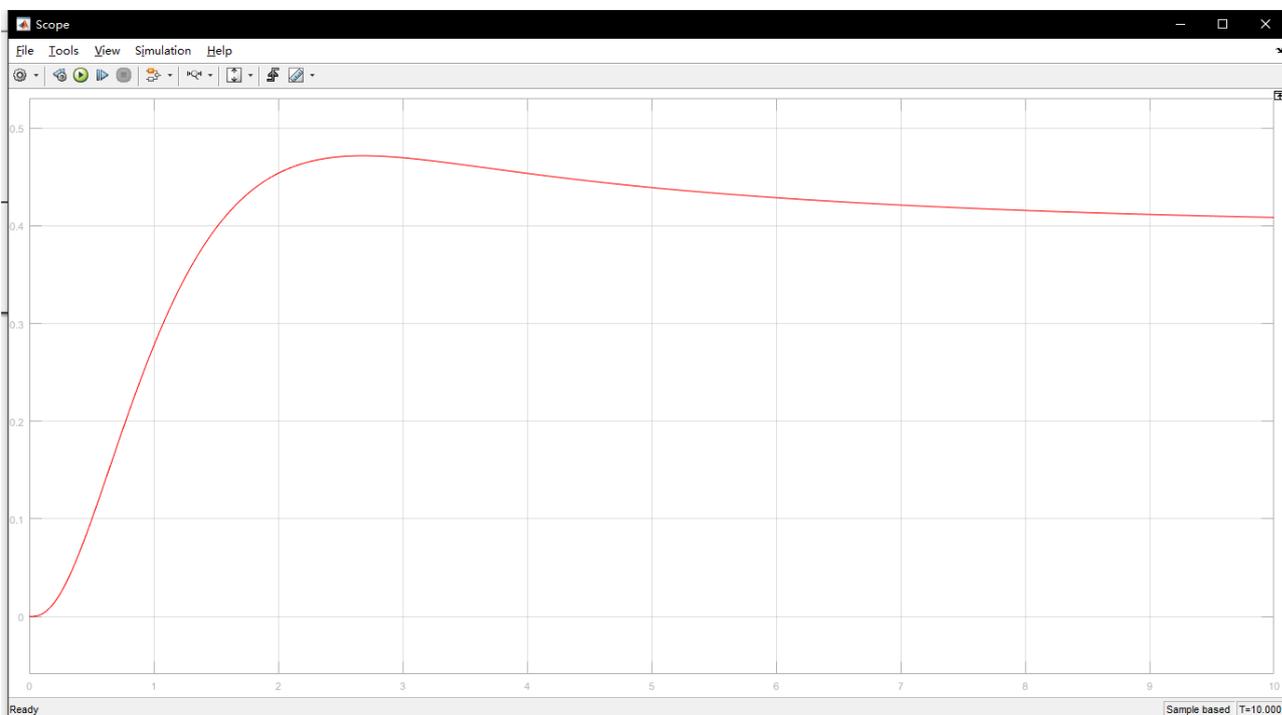


Рисунок 4 - Переходный функций для $[m = 18, c_x = 1.2]$

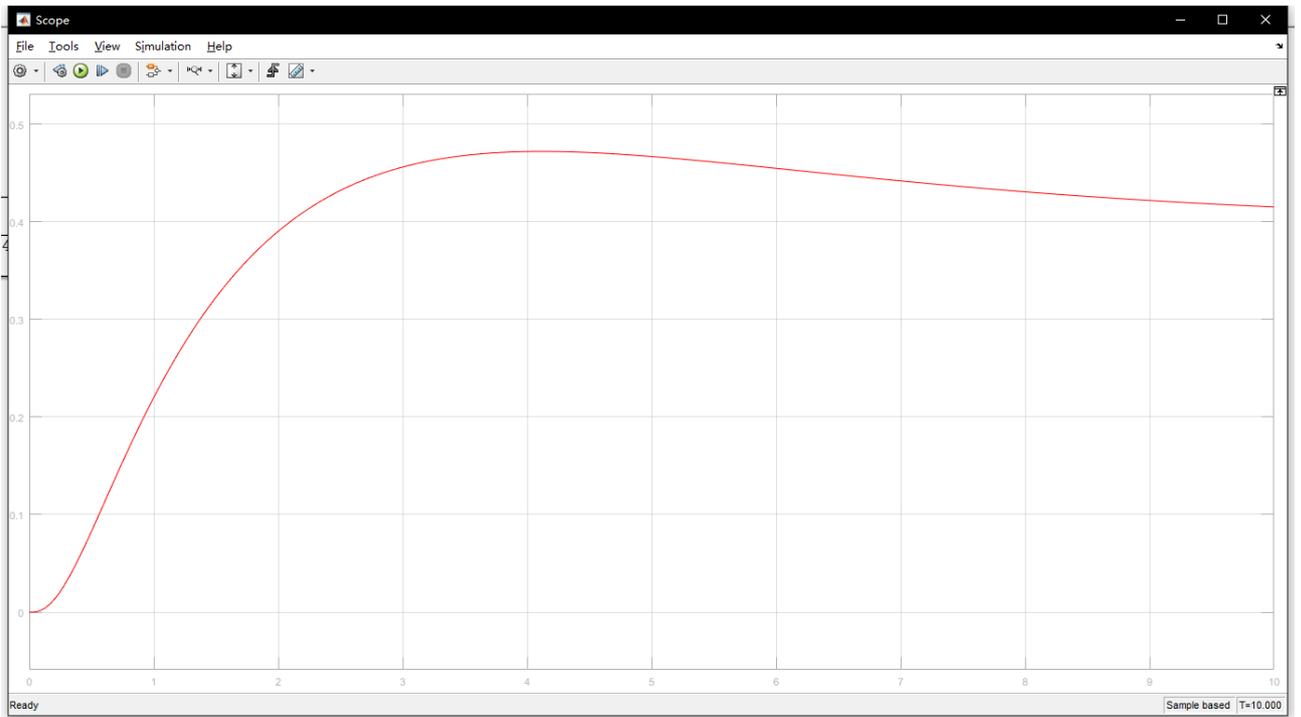


Рисунок 5 - Переходный функций для $[m = 18, c_x = 1.7]$

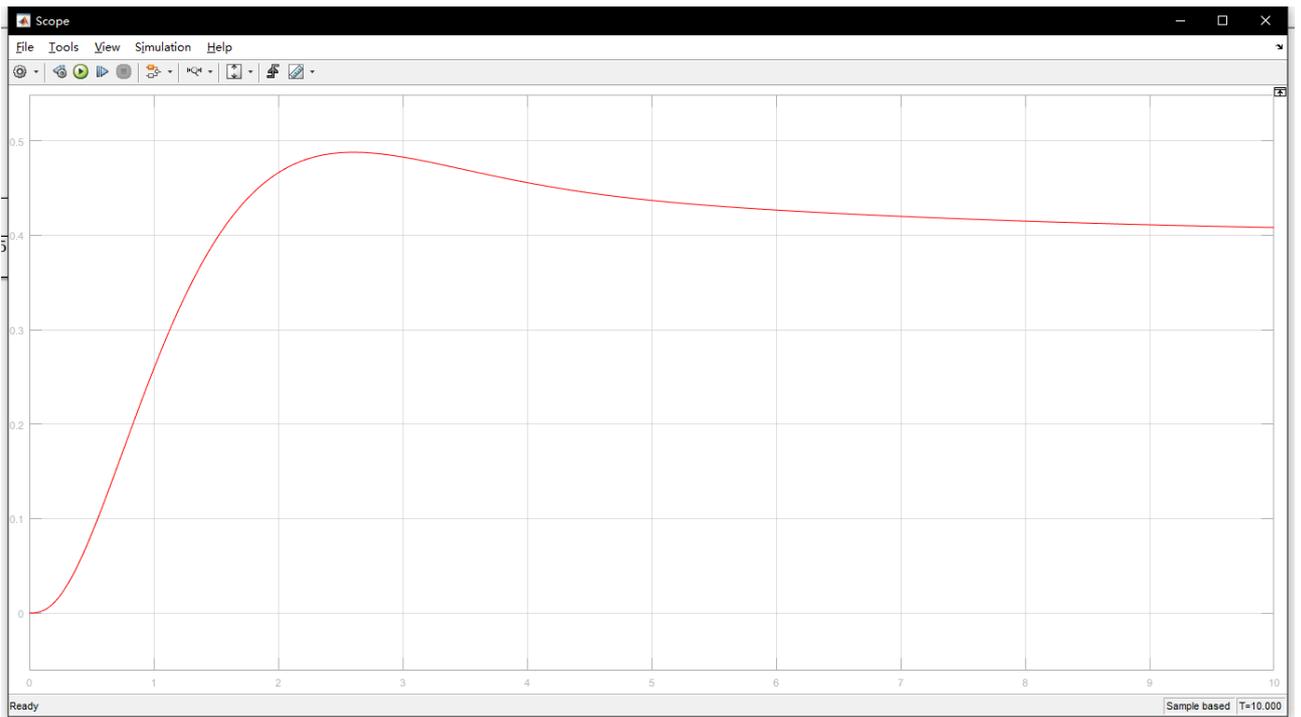


Рисунок 6 - Переходный функций для $[m = 25, c_x = 1.2]$

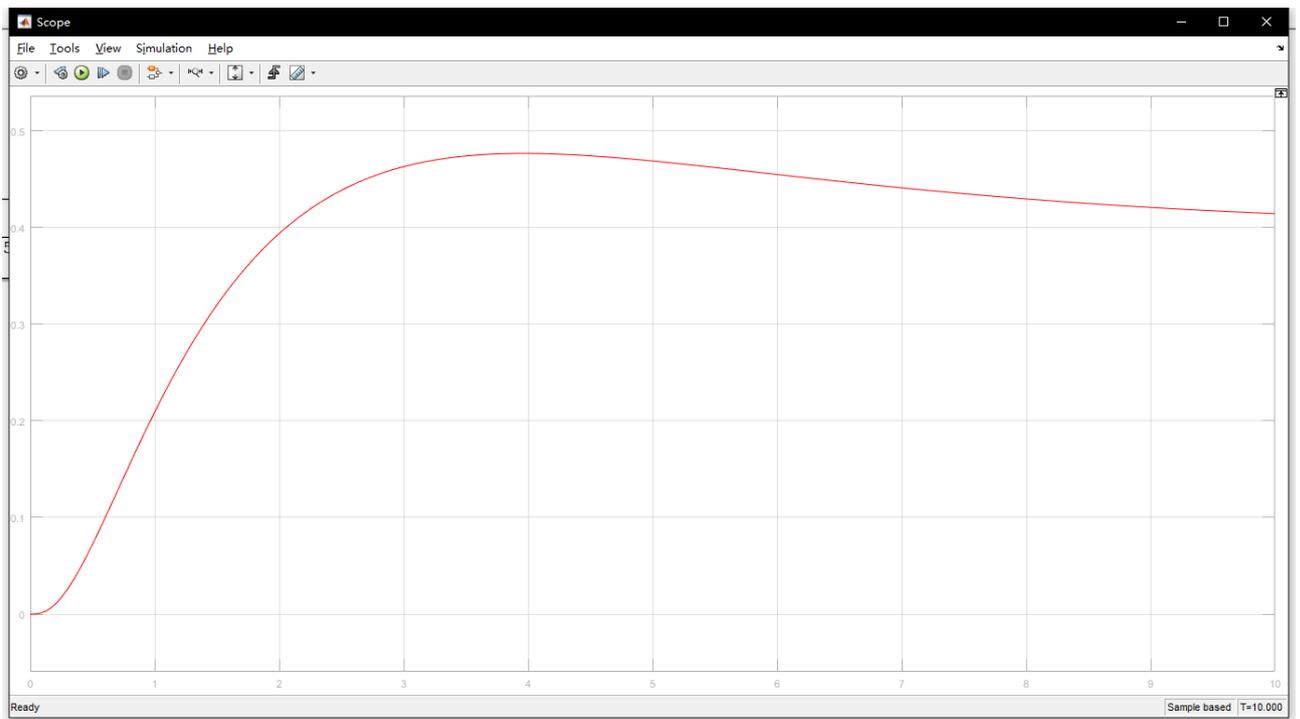


Рисунок 7 - Переходный функций для $[m = 25, c_x = 1.7]$

Из рисунка видно, когда система работает в вершине $[m = 25, c_x = 1.2]$, скорость ПА может быстрее достичь устойчивого состояния.

5 Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

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

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Цель эксперимента - анализ и синтез каналов управления движением подводного аппарата. Рассматривается пространственное движениях интервальной неопределенности параметров, проводится анализ динамических свойств управления. Определяются настройки каналов управления на основе критерия максимального быстродействия. Потенциальными пользователями являются морские рыбаки, морские энтузиасты, экологические организации и научно-исследовательские группы. Сегментирование рынка произведено по следующим критериям: размер компании-заказчика и вид компании (таблица 5.1)

Таблица 5.1 Карта сегментирования

Размер компании	Вид компании	
	Компания по разработке морских ресурсов	Морская научно-исследовательская организация
крупные		
средние		
малые		



– Компания отвечает за производство и продажу подводных детекторов.



– Национальная исследовательская группа



– Малые морские исследования и обнаружение

Из таблицы видно, что крупные и средние компании в основном используют исследования и использование морских ресурсов, в то время как

мелкие компании в основном занимаются исследованиями и обнаружением состояний океана.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ приведен в таблице 5.2, где $B_{к1}$ – «Компания отвечает за производство и продажу подводных детекторов», $B_{к2}$ – «Национальная исследовательская группа»

Таблица 5.2– Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценок	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ф	к1	к2	$K_{ф}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2				6	7	8
Технические критерии оценок ресурсоэффективности							
1. Удобство в чтении и корректировке программного кода	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
2. Потребность в ресурсах памяти компьютера	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
3. Функциональное исполнение канатов	0,1	5	3	1	0,5	0,3	0,1
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
5. Возможность использования в автономном режиме	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
2. Цена	0,1	3	5	1	0,3	0,5	0,1
5. Уровень проникновения на рынок	0,1	1	3	3	0,1	0,5	0,3
6. Финансирование научной разработки	0,2	3	3	3	0,6	0,6	0,6
7. Срок выхода на рынок	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Итого	1	36	46	30	3,7	4,4	3

Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что наша разработка имеет средний уровень конкурентоспособности.

Позиции конкурентов особенно уязвимы в потребности в ресурсах памяти и ценовом диапазоне. Так же в зоне уязвимости может оказаться финансирование научной разработки.

Конкурентное преимущество нашей разработки в функциональной мощности, сроке выхода на рынок и конкурентоспособности.

5.1.2 SWOT-анализ

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской работе.

Таблица 5.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно- исследовательского проекта:	Слабые стороны научно- исследовательского проекта:
	<p>С1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей).</p> <p>С2. Функциональная мощность (предоставляемые возможности).</p> <p>С3. Конкурентоспособность продукта.</p> <p>С4. Срок выхода на рынок.</p> <p>С5. Высоко квалифицированный научный труд.</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания ПО.</p> <p>Сл4. Уровень проникновения на рынок.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения ПО на рынок.</p> <p>В2. Использование развитой международной инфраструктуры для более быстрой доставки плат.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на</p>	<p>Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность ПО и ускорить выход на рынок. Так же использование развитой международной инфраструктуры поможет ускорить выход ПО на рынок. Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря использованию высоко квалифицированного научного труда.</p>	<p>Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей квалифицированных кадров. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях может привести к увеличению срока поставки плат, используемых для проведения научного исследования.</p>

Приложение таблицы 5.3

сырье и материалы, используемые при научных исследованиях. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.	Благодаря снижению таможенных пошлин на платы возможно повышение конкурентоспособности ПО.	
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция производителей ПО.</p> <p>У3. Высокая стоимость оборудования и плат.</p>	Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода ПО на рынок и понизить квалификацию научного труда. Развитая конкуренция производителей ПО может привести к снижению конкурентоспособности продукта.	Отсутствие спроса на новые технологии производства и высокая стоимость оборудования и плат может привести к отсутствию прототипа научной разработки, отсутствию потенциальных потребителей, необходимого оборудования для проведения испытания ПО, ухудшить уровень проникновения на рынок.

Вторым этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого составляются интерактивные матрицы.

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>
	<i>B1</i>	0	+	0	+	+
	<i>B2</i>	0	0	0	+	0
	<i>B3</i>	+	+	+	0	-
	<i>B4</i>	0	0	0	+	0
	<i>B5</i>	0	0	-	0	0
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		<i>СЛ1</i>	<i>СЛ2</i>	<i>СЛ3</i>	<i>СЛ4</i>	
	<i>B1</i>	0	0	0	0	
	<i>B2</i>	0	0	0	+	
	<i>B3</i>	0	-	0	0	
	<i>B4</i>	0	0	-	+	
	<i>B5</i>	0	0	0	0	
Сильные стороны проекта						

Приложение таблицы 5.4

Угрозы проекта		<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>
	<i>У1</i>	0	0	0	-	-
	<i>У2</i>	0	0	-	0	0
	<i>У3</i>	0	0	0	0	0
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		<i>СЛ1</i>	<i>СЛ2</i>	<i>СЛ3</i>	<i>СЛ4</i>	
	<i>У1</i>	-	-	-	-	
	<i>У2</i>	0	0	0	0	
	<i>У3</i>	-	-	-	-	

Таким образом, сильные стороны проекта удовлетворяют его возможностям. Невысокая стоимость проекта, его простота позволяют использовать практически все возможности для развития исследований. Однако, слабые стороны проекта в сочетании с внешними угрозами ставят под вопрос будущее развитие проекта. Для их минимизации необходимо повысить уровень квалификации разработчиков, а также найти альтернативные пути приобретения элементов для устройства, возможно, отечественных производителей.

5.2 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

5.5.

Таблица 5.5 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работ	Исполнитель и	Загрузка исполнителей
Подготовительный этап		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	<i>НР</i>	<i>НР – 100 %</i>
Составление и утверждение ТЗ	<i>НР, И</i>	<i>НР – 80 % И – 80 %</i>
Разработка календарного плана	<i>НР, И</i>	<i>НР – 100 % И – 100 %</i>
Изучение предметной области	<i>И</i>	<i>И – 100 %</i>
Анализ динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов		
Расчет модели, приведение полученных результатов	<i>НР, И</i>	<i>НР – 30 % И – 100 %</i>
Экономическое обоснование		
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	<i>И</i>	<i>И – 100 %</i>
Анализ опасных и вредных производственных факторов		
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<i>И</i>	<i>И – 100 %</i>
Оформление полученных методик	<i>И</i>	<i>И – 100 %</i>
Документирование		
Составление и согласование расчетно- пояснительной записки	<i>НР, И</i>	<i>НР – 100 % И – 100 %</i>
Оформление графического материала	<i>И</i>	<i>И – 100 %</i>
Подведение итогов	<i>НР, И</i>	<i>НР – 100 % И – 100 %</i>

5.3 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 трудоемкости i -ой работы $t_{ож\ i}$ применяется вероятностный метод – метод двух оценок $t_{min\ i}$ и $t_{max\ i}$.

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5} \quad (5.1)$$

где $t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, (чел/дн);

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, (чел/дн).

Для выполнения перечисленных в таблице 6 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:

$$T_{РД} = t_{ож\ i} \cdot K_{Д} \quad (5.2)$$

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

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$). Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К} \quad (5.3)$$

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

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

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (5.4)$$

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

$T_{ВД}$ – выходные дни;

$T_{ПД}$ – праздничные дни.

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22 \quad (5.5)$$

В таблице 5 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Таблица 5.6 – Трудозатраты на выполнение

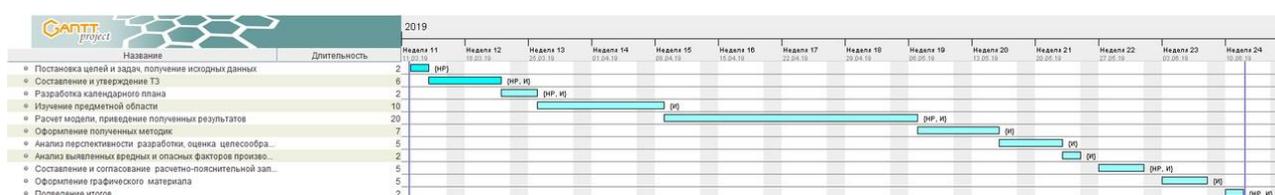
Этапы работ	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн			
		<i>t_{min i}</i>	<i>t_{max i}</i>	<i>t_{ож i}</i>	ТРД		ТКД	
					НР	И	НР	И
Подготовительный этап								
Постановка целей и задач, получение исходных данных	<i>НР</i>	1	2	1	2	-	2	-
Составление и утверждение ТЗ	<i>НР, И</i>	4	6	4	3	6	3	7
Разработка календарного плана	<i>НР, И</i>	1	2	1	2	2	2	2
Изучение предметной области	<i>И</i>	7	10	8	-	10	-	12
Анализ и синтез каналов управления движением подводного аппарата								
Расчет модели, приведение полученных результатов	<i>НР, И</i>	14	20	16	1	20	2	24
Оформление полученных методик	<i>И</i>	5	7	6	-	7	-	8

Приложение таблицы 5.6

Экономическое обоснование								
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	<i>И</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>-</i>	<i>5</i>	<i>-</i>	<i>5</i>
Анализ опасных и вредных производственных факторов								
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<i>И</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>-</i>	<i>2</i>	<i>-</i>	<i>2</i>
Документирование								
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	<i>НР, И</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>-</i>	<i>5</i>	<i>-</i>	<i>5</i>
Оформление графического материала	<i>И</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>-</i>	<i>5</i>	<i>-</i>	<i>5</i>
Подведение итогов	<i>НР, И</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
Всего:				<i>50</i>	<i>10</i>	<i>64</i>	<i>11</i>	<i>72</i>

На основе таблицы 5.6 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 6 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5.7 – Календарный план-график проведения НИОКР



5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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.

5.4.1 Расчет затрат на ПО

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 5.8.

Таблица 5.8– Затраты на ПО

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Компьютер	57 000	1 шт.	57 000
Итого			57 000

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии. Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot Ц_{ОБ}}{F_D} \cdot t_{рф} \cdot n \quad (5.6)$$

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

$Ц_{ОБ}$ – цена оборудования, $Ц_{ОБ} = 57\,000$ руб.;

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

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, $t_{рф} = 317$ часа;

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

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 57000}{2384} \cdot 317 \cdot 1 = 1895 \quad (5.7)$$

5.4.2 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 (ЗПдн-т) рассчитывается по формуле:

$$СГ_i = \frac{МО}{24,83}, \quad (5.8)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 5.10. 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 5.9. Также был принят во внимание учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы ($KПД = 1,1$);

Кдоп ($ЗП = 1,188$; $Kр = 1,3$). 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 ($Kи = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$).

Таблица 5.9 - Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Фонд з/платы, руб.
<i>НР</i>	23264,86	936,97	9	14327
<i>И</i>	14584,32	607,68	61	37068
<i>Итого</i>				51395

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили $СОСН = 54\,395$ руб.

5.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$C_{доп} = k_{доп} * C_{осн}, \quad (5.9)$$

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

Таблица 5.10 – Затраты на дополнительную заработную плату

Исполнитель	Отчисления на дополнительную заработную плату, руб.
<i>НР</i>	2149
<i>И</i>	5560

5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внед} = k_{внед} * (C_{осн} + C_{доп}), \quad (5.8)$$

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

Таблица 5.11- Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
НР	14327	2149
И	37068	5560
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{внед} = 27,1\%$	
Итого:	16017	

$$C_{внед} = 16017 \text{ руб.}$$

5.4.5 Прочие расходы

В статье «Накладные расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Таблица 5.12– Накладные расходы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество во	Сумма, руб.
Блокнот	40	2 шт.	80
Бумага для принтера формата А4	150	2 уп.	300
Ручка шариковая	10	4 шт.	40
Карандаш	10	2 шт.	20
Стирательная резинка	5	2 шт.	10
Электроэнергия	5,8 руб кВт*ч	120 кВт*ч	696
Покупка лицензии Matlab (1 исполнение)	98 981	1 шт	98981
Покупка лицензии VisSim (3 исполнение)	130 504	1 шт	130504
Итого:		1 исполнение	100127
		3 исполнение	131200

5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.13

Таблица 5.13 - Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	57000
Амортизация	-1895
Затраты по основной аработной плате исполнителей темы	51395
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7709
Отчисления во внебюджетные фонды	16017
Накладные расходы (1 исполнения)	100127
Накладные расходы (3 исполнение)	131200
Бюджет затрат НТИ (1 исполнение)	230353
Бюджет затрат НТИ (2 исполнение)	31073
Бюджет затрат НТИ (3 исполнение)	261426

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.9)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в том числе аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.10)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 5.14:

Таблица 5.14 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{max}, руб.$	$\Phi_{pi}, руб.$	$I_{финр}^i$, о. е.
1е исполнение	261 426	230353	0,88
2е исполнение		31073	0,11
3е исполнение		261426	1

Второй вариант имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, но в то же время имеет недостаточную функциональность.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 5.15:

Таблица 5.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

исслед. / Критерии \ Объект	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Уровень новизны	0,3	5	5	5
2. Теоретический уровень	0,3	5	3	3
3. Возможность реализации	0,4	5	3	3
ИТОГО	1	5	3,6	3,6

$$I_{p-исп1} = 5*0,3 + 5*0,3 + 5*0,4 = 5;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,3 + 3*0,3 + 3*0,4 = 3,6;$$

$$I_{p-исп3} = 5*0,3 + 5*0,3 + 5*0,4 = 3,6.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (5.11)$$

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

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (5.12)$$

Таблица 5.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	3,6	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	5	3,6	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,39	1	1

Таким образом, исполнение №1 является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с исполнениями № 2 и № 3. Все 3 исполнения с финансовой точки зрения одинаково эффективны.

6 Социальная ответственность

Введение

Объекта исследования является анализ и синтез каналов управления движением подводного аппарата.

В связи с этим, мы рассматривает пространственные движениях интервальной неопределенности параметров, проводится анализ динамических свойств управления, этот раздел будет разработать комплекс мер по минимизации или устранению негативных факторов за счет подъемной силы, порожденного электромеханического моделирования системы [26].

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. Используя ГОСТ 12.0.003-74 [27], можно выделить ряд факторов, приведенных в таблице 6.1. Так же приведены источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источники фактора	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Персональный компьютер	нарушение параметров микроклимата повышение шума недостаточное освещение	опасность поражения электрическим током	1. СанПиН 2.2.4.548–96 [28] 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [29] 3. СанПиН 2.2.2/2.4.134003 [30]

Приложение таблицы 6.1

	электромагнитные излучения		4. СНиП 23-05-95 [6] 5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [31] 6. ГОСТ Р 12.1.019- 2009 ССБТ [32]
--	-------------------------------	--	--

6.1.2 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений - климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [30] работа инженера-программиста относится к категории легких работ (А1). Категория А1 относится к работам с интенсивностью энергозатрат до 120 кал/ч производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальный микроклимат на рабочем месте обеспечивает ощущение теплового комфорта в течение работы при минимальном напряжении механизмов терморегуляции человека, не вызывает отклонений состояния здоровья, обеспечивает условия для высокого уровня работоспособности и является предпочтительным на рабочем месте.

Приложение таблицы 6.1

Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться следующие требования:

Таблица 6.2 - Допустимые значения показателей микроклимата по СанПиН 2.2.4.548–96

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влаж воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22 - 24)	(21 – 25)	(40 - 60)	0,1
Теплый	(23 -25)	(22 - 26)	(40 - 60)	0,1

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели. Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли.

6.1.3 Шум

При работе с ПК возникают акустические поля. Воздействие шума может привести к ухудшению слуха. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте кроме того приводит к снижению внимания персонала, замедлению скорости психических реакций [34]. Источниками шумов могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные

устройства. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Снизить уровень шума можно при помощи звукопоглощающих материалов, предназначенных для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создается за счет использования занавесок из плотной ткани. Также уровень шума может быть снижен путем очистки или замены системы охлаждения персонального компьютера.

ПДУ шума для объектов типа поста управления нормируются ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Значения ПДУ согласно этим документам представлены в таблице 6.3. (для постоянных шумов):

Таблица 6.3 – Уровни звукового давления в октивных полосах со среднегеометрическими частотами

Рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	3	25	50	00	000	000	000	000	
ПУ	3	4	8	3	0	8	5	4	65

Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим производственный контроль (измерения и оценка).

6.1.4 Недостаточная освещенность

Важнейшим физическим фактором является освещенность производственного помещения в целом и рабочего места конкретно. С этой целью производят нормирование производственного освещения, поскольку такие показатели как: яркость дисплея экрана, частота обновления

изображения, общая освещенность в рабочей зоне оказывают сильнейшее влияние на зрение работника.

Работа, выполняемая с использованием *ПК*, имеют следующие недостатки:

отражение экрана;

вероятность появления прямой блескости;

ухудшенная контрастность между изображением и фоном;

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения $(0,3 - 0,5)$ мм величина коэффициента естественного освещения (*КЕО*) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения $(0,5 - 1,0)$ мм *КЕО* должен быть не ниже 1,0%. Для общего освещения помещений следует использовать лампы со световой отдачей не менее 55 лм/Вт. Для освещения помещений, оборудованных персональными компьютерами, следует применять систему общего освещения. Также допускается применение комбинированного освещения с целью дополнительного освещения бумажного носителя при исключении засветки от экрана монитора.

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, по ГОСТ Р 55710-2013, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная – 750 лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300 лк соответственно.

6.1.5 Расчет искусственного освещения

Задачей расчета является выполнение общего равномерного освещения помещения. Размеры помещения 15x8x4 м, высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 300$ лк.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_M * S * Z * K_{\text{Э}}}{N * \eta} \quad (6.1)$$

Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_n = 70 \%$.

Коэффициент запаса $k = 1,8$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Приняв $h_c = 0,5$ м; получаем $h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7$ м;

$L = 1,4 * 2,7 = 3,78$ м; $L/3 = 1,26$ м

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 48$.

Находим индекс помещения:

$i = 120 / [2,7 * (15 + 8)] = 1,93$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,61$.

$$\Phi = \frac{300 * 120 * 1,8 * 1,1}{48 * 0,61} = 2434,43 \text{ Лм.} \quad (6.2)$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов, выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$-10 \% \leq (\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}) / \Phi_{\text{ст}} * 100 \% \leq 20 \%$

$-10 \% \leq (2850 - 2434,43) / 2850 * 100 \% \leq 20 \%$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$P = 48 * 40 = 1920 \text{ Вт}$

6.1.6 Электромагнитные излучения

Вредные проявления факторов рассматриваемой рабочей зоны выражаются в электромагнитном и электрическом излучениях (ЭМИ и ЭСИ). Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности

формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя. Техногенные ЭМП приводят к следующему: появление головной боли, повышение температуры тела, ожоги, катаракты. Радиочастотное ЭМП влияет на нервную и сердечно – сосудистую системы [26].

Источником ЭСП является экран ПК и трение поверхности клавиатуры и компьютерной мыши. ЭСП может способствовать нарушению гормональной и иммунной систем. Показатели ЭМИ и ЭСИ на рабочих местах с ПК представлены в таблице 6.4 [11]:

Таблица 6.4 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Параметры воздействия, частота излучения		Допустимые значения
Статическое поле		20 000 В/м
На расстоянии 50 см вокруг	в диапазоне частот (5 Гц – 2 кГц)	25 В/м
	в диапазоне частот (2 кГц – 400 кГц)	2,5 В/м
Переменное поле на расстоянии 50 см вокруг		0,25 А/м
Магнитная индукция не более	в диапазоне частот (5 Гц – 2 кГц)	250 нТл
	в диапазоне частот (2 кГц – 400 кГц)	25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не более		500 В

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может привести к дыхательной, нервной и сердечнососудистой систем, головным болям, утомляемости. Для обеспечения меньшего уровня

электромагнитного излучение использован жидкокристаллический монитор. Необходимо чтобы компьютер был заземлен, а так же необходимо по возможности сокращать время работы за компьютером.

6.1.7 Электробезопасность

Электрический ток относится к категории опасных факторов. В помещении, где производится разработка устройства, присутствует большое количество аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц, в том числе персональный компьютер за которым происходит наладка программного обеспечения. Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [8] и ПУЭ, по опасности электропоражения данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности. Это обусловлено отсутствием высокой влажности, высокой температуры, токопроводящей пыли и возможности одновременного соприкосновения с заземленными предметами и металлическими корпусами оборудования. Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаизолированного от земли человека к незаизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;

при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению технических средств защиты. К основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током (*ГОСТ IEC 61140-2012*) относятся:

изоляция токопроводящих частей;

защитное заземление;

зануление;

защитное отключение;

предупредительная сигнализация и блокировки.

Также рекомендуется проведение ряда организационных мероприятий (специальное обучение, аттестация и переаттестация лиц электротехнического персонала, инструктажи и т. д.).

6.1.8 Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;

соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

6.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)

Для создания и поддержания в лаборатории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года должно использоваться водяное отопление, а в теплое время года применяться кондиционирование воздуха.

На рабочем месте должно применяться также искусственное освещение помимо естественного, которое осуществляется системой общего равномерного освещения, а при работе с документами следует применять комбинированное освещение. Кроме того, рабочий стол следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал слева.

Работа за компьютером относится к V зрительному разряду (работа малой точности). Следовательно, требуемая освещенность помещения может быть обеспечена следующими типами ламп:

люминесцентная лампа белого свечения (ЛБ) или холодного белого свечения (ЛХБ);

металл галогенная лампа (МГЛ);

ртутная лампа высокого давления (ДРЛ);

На рабочем месте желательно применение комбинированной системы освещения: люминесцентные лампы типа ЛД. Люминесцентные лампы имеют ряд существенных преимуществ: излучаемый ими свет близок к дневному, естественному свету; обладают повышенной светоотдачей, имеют более длительный срок службы [35].

Согласно *ГОСТ 12.1.003-2014*[37] эквивалентный уровень звука не должен превышать 65 дБА.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дБ;

рациональная планировка помещения.

установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;

экранирование рабочего места, путем постановки перегородок, диафрагм;

Дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

6.3 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 и индукционного преобразователя 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, его можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка таких отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования (например, кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы) согласно [28], [29].

В соответствии с требованиями законодательства все образующиеся отходы в соответствии с их классами опасности передаются специализированным предприятиям для переработки, утилизации или захоронения.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве. Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) должны быть соблюдены в соответствии с [40].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятной чрезвычайной ситуацией возникающей при проведении анализа динамических свойств системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами является пожар.

При этом 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 [41].

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.

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 углекислотными огнетушителями.

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

Рабочее место должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (*НПБ 105-03*) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по *ГОСТ 12.1.004-91* и *СНиП 21-01-97*.

По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности помещение относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

В качестве средств пожаротушения применяются устанавливаемые в коридорах и на лестничных площадках пожарные краны. В качестве средства первичного средства пожаротушения следует использовать огнетушители, подходящие для тушения электроустановок, в частности, порошковые огнетушители. Углекислотные огнетушители также подходят для тушения электроустановок, однако, из-за опасности испарений огнетушащего вещества не подходят для использования в замкнутом помещении. План эвакуации предоставлен на рисунке 6.2:

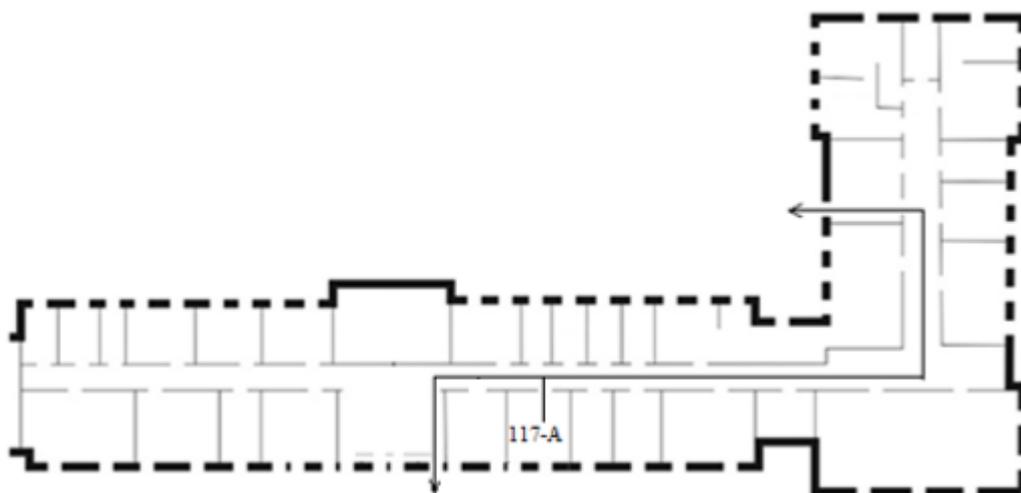


Рисунок 8 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2, 1-й этаж

6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль.

Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарноэпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России),

Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

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

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

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

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

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

Согласно *ГОСТ 12.2.032-78* конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [42].

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

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

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

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

Заключение

В результате выполнения ВКР исследовано влияние интервальных параметров системы управления на ее степень устойчивости. Данный корневой показатель качества определяет быстродействие системы управления. Установлено, что для любого диапазона изменения неустойчивого параметра системы ее минимальная степень устойчивости будет при одном из его крайних значений. То есть у степени устойчивости системы в любом режиме нет локальных максимумов и, следовательно, максимум степени устойчивости всегда является единственным. Данное свойство степени устойчивости использовано при ее максимизации на основе метода нелинейного программирования. Данный метод позволяет находить параметры линейного регулятора, обеспечивающие максимум степени устойчивости системы в вершинах параметрического многогранника объекта управления.

Разработанный подход применен для параметрического синтеза регулятора канала управления подводного аппарата. Для решения этой задачи составлена математическая модель системы управления подводного аппарата и получено ее характеристическое уравнение. Оно содержит два интервальных параметра системы и два параметра регулятора. В результате максимизации степени устойчивости канала регулирования в четырех вершинах получены значения параметров регулятора и максимальное значение минимальной степени устойчивости системы. Для проверки полученных результатов построены также переходные процессы в канале регулирования подводного аппарата во всех режимах его работы.

Список используемой литературы

1. Загарий Г.И., Шубладзе А.М. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости.-М.: Энергоатомиздат, 1988-104с.
2. Вадутов О.С., Гайворонский С.А. Синтез устойчивой пинейной системы припараметрических возмущениях объекта //Машинные методы оптимизации, моделирования и планирования эксперимента: Межвуз сб. науч. Тр./ Новосибирский электротехнический институт. Новосибирск, 1988. С.112-118.
3. Кузнецов В. П., Кукаренко Е. П., Фурман Ф. В. Численная процедура получения экспериментальных оценок в линейных непрерывных системах с неопределенными параметрами. - «Автоматика и телемеханика», 1987г. №5. С. 183-186.
4. Пятницкий Е. С., Скородинский В. И. Численные методы построения функций Ляпунова и критерий абсолютной устойчивости в форме численных процедур. - «Автоматика и телемеханика», 1987г. №11. С. 52-64.
5. Удерман Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматического управления.-Л.: Госэнергоиздат, 1963-112с.
6. Татаринов А.В Цирлин АМ Задачи математического программирования, содержащие комплексные переменные, и предельная степень устойчивости линейных динамических систем. - «Теория и системы управления», 1995г. №1.
7. Цирлин А.М. Оптимальное управление технологическими процессами.-М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Автоматизация настройки систем управления / Под ред. В.Я.Ротача. М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем. М.: Наука, 1977.

10.Корн Г., Корн Т., Справочник по математике для инженеров и научных работников. М.: Наука, 1970.

11.Гайворонский С.А. Параметрический синтез линейного регулятора электромеханической системы при интервальной неопределенности объекта управления. - «Электромеханика», Известия высших учебных заведений, 1990г №5.

12.Александров А. Г. Синтез регуляторов многомерных систем. - М.: Наука, 1987г.

13.Соболев О. С. Методы исследования линейных многосвязных систем. - М: Энергоиздат, 1985г.

14.Цыпкин Я. З., Поляк Б. Т. Робастная устойчивость линейных систем. //Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. М.: ВИНТИ, 1991г., т.32.

15.Бесекерский В. А. Попов Е. П. Теория системы автоматического регулирования. - М.: Наука, 1975г.

16.Неймарк Ю. И. Устойчивость линеаризованных систем. - Л.: ЛКВВИА. 1949г.

17.Цыпкин Я. З. Критерии устойчивости линейных систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1950г.

18.Джури И. Э. Робастность дискретных систем. - «Автоматика и телемеханика», 1990г. №5. С.

19.Мееров М. В. Системы многосвязного регулирования. – М.: Наука, 1965г.

20.Петров Н. П., Поляк Б. Т. Робастное D-разбиение. - «Автоматика и телемеханика», 1991г. №11. С.

21.СанПин 2.2.2.542-96

22.Панин В.Ф. Федосова В. Д. и др. Безопасность жизнедеятельности (методические указания). Томск, 1996г, 30с.

23.Сибаров Ю. Г. Охрана труда в вычислительных центрах. - М.: Наука, 1994г.

24. Демиденко Е. П., Кузыменко Е. П., Орлов П. П., Пролыгин В. А., Сидоренко Н. А. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения. - М.: Наука, 1990г.

25. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1986г., 365с.

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

27. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

28. СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

29. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».

30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

31. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

32. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».

33. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

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

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

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

37.ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

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

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

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

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

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

Приложение А

(обязательное)

Раздел ВКР выполненный на иностранном языке

Раздел 2 Изменение степени устойчивости системы внутри
параметрического многогранника

**Section 2 The change in the degree of stability of the system inside the
parametric polyhedron**

Раздел 3 Применение математического программирования для
решения задачи максимизации степени устойчивости САУ

**Section 3 Application of mathematical programming to solve the
problem of maximizing the degree of stability of CAU**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Цзэн Вэнь		

Руководитель ВКР:

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

Консультант-лингвист:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Т. В.	к.п.н.		

2.The change in the degree of stability of the system inside the parametric polyhedron

The main mathematical description of the system is its transfer function, but due to the fact that in this study it is of interest to find the degree of stability, we restrict ourselves to the characteristic polynomial of the system.

We assume that the characteristic polynomial of the ACS with interval-indeterminate parameters of the object and the linear regulator is:

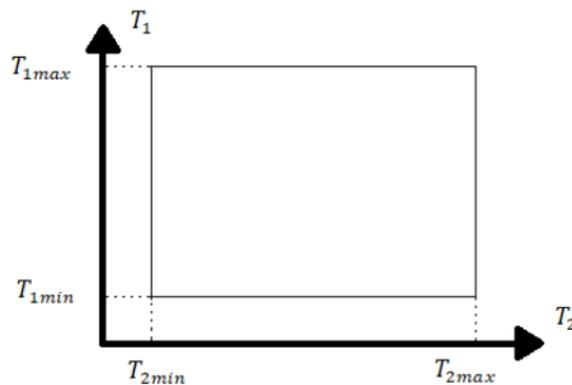
$$D(s) = a_n \cdot (T, K) \cdot s^n + a_{n-1} \cdot (T, K) \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot (T, K) \cdot S + a_0 \cdot (T, K) \quad (2.1)$$

Where $T = \{T_j\}$ -vector of interval-indefinite parameters of the object,

$$T_{jmin} \leq T_j \leq T_{jmax}, j=1/m;$$

$K = \{K_n\}$ -vector of tunable controller parameters.

Since the interval-indefinite parameters of the object are given by boundary values, the region P_T , inside which the vector T can be changed arbitrarily, is a parametric polyhedron $P_T = \{T_j | T_{jmin} \leq T_j \leq T_{jmax}, j = 1/m\}$, containing 2^m vertices. For example, for a system with two interval-indefinite parameters, the parametric polyhedron will have the form of a rectangular area (photo 2.1).



Pyoto 9 - Parametric polyhedron

Since it is necessary to study all 2^m vertices of a parametric polyhedron, it becomes necessary to use a hypothesis, formally freezing the coefficients, which leads to the need to study not one, but 2^m characteristic polynomials that have the same general form, but contain different values of parameters that are interval-indeterminate.

As mentioned earlier, the work involves consideration of a method for assessing the stability of a system with interval-indefinite coefficients of a characteristic polynomial, based on maximizing the minimum degree of system stability at the vertices of a parametric polyhedron formed by the boundary values of the polynomial coefficients. At the same time, the area of real change of the polynomial coefficients is determined by the interval-indefinite parameters of the object entering these coefficients and is located inside the parametric polyhedron, mapped into the space of interval-indeterminate object parameters as a certain P_T domain used to select the optimal parameters of the linear controller of the CAY.

Let the characteristic CAY polynomial with interval-indeterminate object parameters and a linear regulator have the form:

$$D(s) = a_n \cdot (T, K) \cdot s^n + a_{n-1} \cdot (T, K) \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot (T, K) \cdot S + a_0 \cdot (T, K) \quad (2.2)$$

Then, under the condition $a_n \cdot (T, K) \neq 0$, it can be represented as follows:

$$D(s) = S^n + b_n \cdot (T, K) \cdot S^{n-1} + \dots + b_2 \cdot (T, k) \cdot S + b_1 \cdot (T, K) \quad (2.3)$$

Where $b_i \cdot (T, K) = a_{i-1} \cdot \frac{T, K}{a_n} \cdot (T, K), i = 1 \div m$

Since m object parameters are given by boundary values, the area P_T , inside which the vector T can be changed arbitrarily, is a parametric polyhedron:

$$P_T = \{T_j | T_{jmin} \leq T_j \leq T_{jmax}, j = 1 \div m\}, \quad (2.4)$$

containing 2^m vertices. Denote the vertex vector of this polyhedron by T^B . Using the hypothesis of “formal freezing” of coefficients (2.1) under the condition of insignificant change of variable parameters during the transition process, consider the CAY as a multi-mode system. The synthesis of controller parameters in this case involves finding such settings that guarantee the specified quality indicators in the worst mode. By the worst mode of the CAY, we will understand such a set of values of the interval-indeterminate parameters of an object at which the degree of stability η of the system is minimal. Under certain conditions, to find the worst-case mode, there is no need to scan the entire area inside the polyhedron P_T , and it suffices to check its vertices T^B . Indeed, according to [4], for the characteristic polynomial (2.2), the function $\eta = \eta(b_n, \dots, b_1)$ has the property of

convexity in b_i variables in the range $[b_{imin}; b_{imax}]$ the minimum of this function is provided by the extreme values of the coefficients b_i . If the dependences $b_i(T_j)$, ($j = 1 \div m$) are monotonic functions on the intervals $[T_{imin}, T_{imax}]$, then the extreme values of the variable parameters T_j of the object correspond to the extreme values of the coefficients b_i of the polynomial (1.1). Consequently, the function η takes on minimal values with extreme values of T_j , which are the coordinates of the vertices T^B of the parametric polyhedron P_T (2.2).

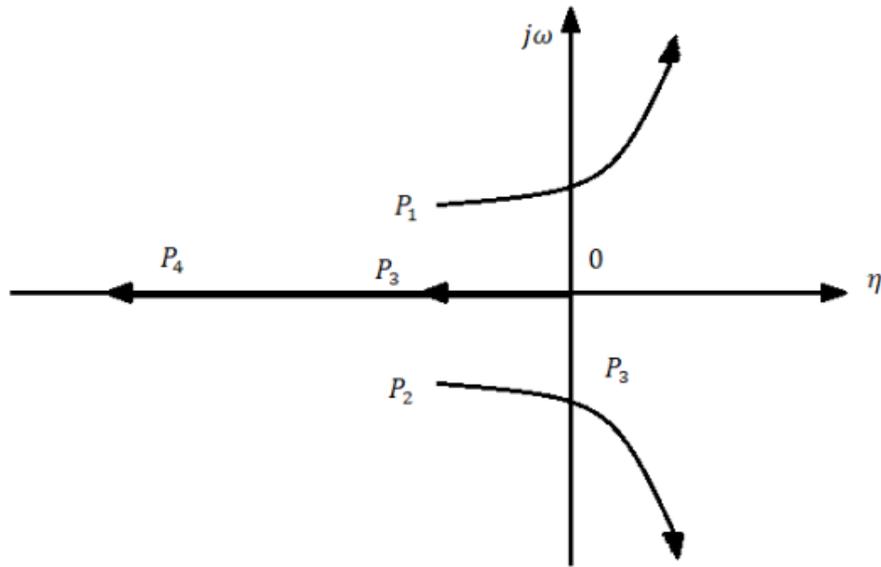
To find the optimal values of the parameters K of the linear controller, it is necessary to solve the problem: maximize by K the worst value of the degree of stability η_{min} at the vertices T^B of the parametric polyhedron P_T :

$$\eta_{min} = \min_{T^B} \eta(T^B, K) \rightarrow \max_k. \quad (2.5)$$

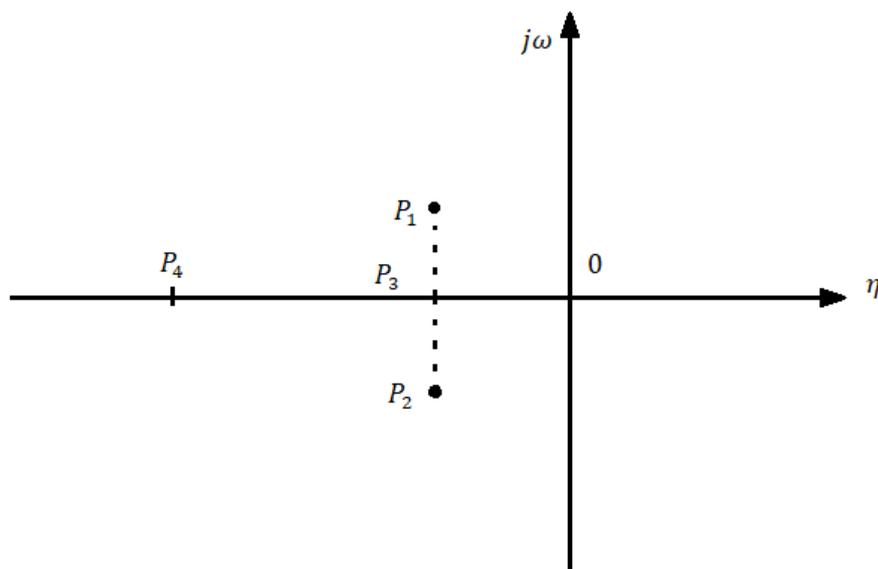
It is known that in order to successfully solve an optimization problem, it is important to know the nature of the objective function. If the characteristic CAY polynomial has the form (1.1), then the function $\eta(K)$ in all modes is unimodal, provided that the dependencies $b_i(K_n), i = 1 \div n, n = 1 \div l$ are monotonic. Indeed, by analogy with the interval-indeterminate parameters of an object for any range of change of the adjustable parameter of the regulator, the minimum degree of stability of the CAY will be at one of its extreme values. Therefore, the degree of stability of the system in any mode has no local maxima, as well as they do not have the objective function. And, therefore, the maximum degree of stability found in the optimization process is always the only one sought.

The uniqueness of the maximum degree of stability can be well reflected by giving a root locus, which is, in fact, a scheme for moving the roots of the characteristic polynomial of a system when its tuning parameters change. As an example, we give a schematic (without calculating a specific system) root locus of a stable fourth-order system from [5] (photo 10a). Here it can be seen that when the root P_3 moves along the real axis from 0 to $-\infty$, the degree of stability simultaneously increases and the roots P_1 and P_2 shift in the opposite direction, towards the imaginary axis, thereby limiting the growth of the degree of stability of

a certain value. The root P_4 at the same time shifts towards $-\infty$, and therefore does not have a particular effect on the value of the maximum degree of stability. Based on this, we can conclude that, ideally, the maximum of the degree of stability is reached at that moment when all the roots P_1 , P_2 and P_3 are on the same lines (photo 10).



a)



b)

a) Root locus of the fourth order system;

b) Achieving the optimum degree of stability.

Photo 10 - Root locus

After the roots pass the level of the optimal value of the degree of stability, there is a decrease in the degree of stability and at the same time a sharp increase in the oscillation the pair of complex conjugate roots becomes closest to the imaginary axis. Based on these considerations, it can be unambiguously stated that the function of the degree of stability is unimodal, i.e. has only one single maximum.

3 Application of mathematical programming to solve the problem of maximizing the degree of stability of CAY

3.1 Maximizing the degree of stability of stationary CAY

In [6], a family of mathematical programming problems is considered, the communication conditions in which are complex functions that are analytic with respect to the variable S . And for such problems the necessary optimality conditions are found taking into account information from the theory of the function of the complex variable. In addition, it is shown that the problem of reaching the limiting degree of stability in a linear dynamic system can be formalized in a similar way, which allows us to obtain analytical expressions in a number of simplest practically important cases that can be used in parametric synthesis of robust and adaptive control systems.

The methods of mathematical, in particular linear programming, are widely used in solving a number of important applied problems [7]. One of such problems is the parametric synthesis of dynamic systems under the constraints imposed on the location of the roots of the characteristic equation. The question of choosing the optimal parameters of a dynamic system, based on the given criteria, attracts considerable attention of researchers [8.9 and others]. Below, we show that the formulation of a nonlinear programming problem with conditions — relations involving functions of a complex variable — allows one to obtain the necessary optimality conditions that can be used to solve parametric synthesis problems for dynamic systems by the criterion of the limiting (maximum) degree of stability and a number of other problems.

Consider a class of mathematical programming problems in which the constraints include the function of a complex variable: $S = \eta + j\omega$. Problem definition:

$$f_0(x) \rightarrow \max \tag{3.1}$$

Under conditions: 1) $F(x, s) = 0$, 2) $x \in V_x \subset R_n$, 3) $S \notin V_s, j^2 = -1$.

In the formulation (2.1), $f_0(x)$ is a real function depending on the real vector x , the function $F(\cdot)$, which is included in the coupling equation (1), is

complex. We assume that both of these functions are continuous and continuously differentiable in x , and $F(\cdot)$ for each x is an analytic function with respect to S .

We note that the formulation of problem (2.1) in the general case may include constraints of the form $f_i(x) = 0$, but their presence does not affect the features of the problem in any way; therefore, for simplicity of calculations, we will not consider such conditions. Problem (2.1) relates to non-linear programming problems [7], but it has a specific character due to the presence of a complex variable and functions from it. Below it is shown that the formalization of some important applied problems from the field of control system synthesis leads to a similar form.

The specific nature of the problem lies in the fact that when writing the equation of communication in the form of equality to zero of the real and imaginary components of the function F , these two equalities are independent and their left sides are related to each other by Cauchy – Riemann equations.

We present the necessary optimality conditions and the calculated relations necessary for the formalization of the problem. To do this, we represent the complex function $F(x, S)$ in the traditional form as the sum of the real $I(x, \eta, \omega)$ and imaginary $R(x, \eta, \omega)$ components.

$$F(x, S) = R(x, \eta, \omega) + jI(x, \eta, \omega) \quad (3.2)$$

Condition (1) in this case falls into two:

$$F(x, S) = R(x, \eta, \omega) + jI(x, \eta, \omega); \quad (3.3)$$

$$(x, \eta, \omega) = 0. \quad (3.4)$$

Note that conditions (3.3), (3.4) are not independent. In addition, $R(\cdot)$ is even and $I(\cdot)$ is an odd function with respect to the argument ω .

To solve the problem (3.1) with the conditions in the form of (3.3), (3.4), it is necessary to compose the Lagrange function [7]:

$$L = \lambda_0 \cdot f_0(x) + \lambda_1 \cdot R(x, \eta, \omega) + \lambda_2 I(x, \eta, \omega) \quad (3.5)$$

Where λ_0, λ_1 and λ_2 Lagrange multipliers. The use of Kuhn-Tucker theorems allows one to write down the necessary optimality conditions for the problem under consideration:

$$\frac{dL}{dx} = 0 \Rightarrow \lambda_0 \cdot \frac{\partial f_0(x)}{\partial x} + \lambda_1 \cdot \frac{\partial R(\cdot)}{\partial x} + \frac{\lambda_2 \partial I(\cdot)}{\partial x}; \quad (3.6)$$

$$\frac{dL}{d\eta} = 0 \Rightarrow \lambda_1 \cdot \frac{\partial R(\cdot)}{\partial \eta} = \frac{-\lambda_2 \partial I(\cdot)}{\partial \eta}; \quad (3.7)$$

$$\frac{dL}{d\omega} = 0 \Rightarrow \lambda_1 \cdot \frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = \frac{-\lambda_2 \partial I(\cdot)}{\partial \omega}; \quad (3.8)$$

The specificity of the task allows to abandon the traditional solution scheme. Instead, it is advisable to obtain additional conditions that do not contain λ -factors, and then add these conditions to the original formulation.

To this end, we consider conditions (3.3), (3.4). The type of equations included in (3.3), (3.4) gives grounds for concluding that the optimal solution is invariance to the sign of ω . In other words, if (3.3,3.4) are fulfilled with $\omega^* = \omega^0$, then they must also be fulfilled with $\omega^* = \omega^0$. Indeed, expression (3.3) does not change when the sign of ω changes, and in (3.4) only the sign does not violate this equality.

Consider the expression (3.8). It can be immediately noted that $\partial R(\cdot)/\partial \omega$ is odd, a $\partial I(\cdot)/\partial \omega$ is an even function of ω . Condition (3.8) allows the following conclusion:

Statement 1: At the optimal solution, the following conditions are met:

$$\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = 0, \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega} = 0 \quad (3.10)$$

This statement can be proved as follows: Suppose that for $\omega = \omega^0$

$$\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = M \neq 0 \Rightarrow \frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega} = K \cdot M \neq 0 \quad (3.11)$$

Where $K = -\lambda_2/\lambda_1 \neq 0$ is the proportionality coefficient between $\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega}$ and $\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega}$ from (3.7). Then, for $\omega = -\omega^0$ $\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega} = -M$ by the oddness of $\frac{\partial R(\cdot)}{\partial \omega}$ and $\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega} = K \cdot M$ by the evenness of $\frac{\partial I(\cdot)}{\partial \omega}$. Thus, we obtain that on the optimal

solution $M = -M$, whence it follows that M must be equal to zero. Thus, the assertion is proved.

Now let us use the Cauchy – Riemann theorem [10] connecting partial derivatives of the analytic functions of a complex variable with respect to real and imaginary arguments:

$$\frac{\partial R(x, \eta, \omega)}{\partial \omega} = -\frac{\partial I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta}; \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = -\frac{\partial I(x, \eta, \omega)}{\partial \omega}; \quad (3.13)$$

Combining (3.9) and (3.13) we get:

$$\frac{\partial R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = 0; \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta} = 0. \quad (3.15)$$

Expressions (3.14), (3.15) are additional conditions that should be added to the original formulation of problem (3.1). Depending on the dimension of x , it may turn out that the resulting system of equations (3.3), (3.4), (3.14), (3.15) will immediately determine the solution to the problem, i.e values η^* , ω^* , x^* . Otherwise, for a newly obtained task with added constraints:

$$f_0(x) \rightarrow \max_{x, \eta, \omega} \quad (3.16)$$

Under conditions (3.3), (3.4), (3.12), (3.13), the necessary optimality conditions should be re-written. It is useful to take into account that the derivatives $R(\cdot)/\partial \eta$, $\partial I(\cdot)/\partial \eta$, $\partial R(\cdot)/\partial \omega$, $\partial I(\cdot)/\partial \omega$ are also related by Cauchy-Riemann equations. After simple mathematical we get:

$$\frac{\partial^2 R(x, \eta, \omega)}{\partial \eta^2} = 0; \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial^2 I(x, \eta, \omega)}{\partial \eta^2} = 0. \quad (3.18)$$

Conditions (3.17), (3.18) should also be added to the problem statement. A similar procedure should be continued until the resulting system of equations of the form:

- 6) If, as the source data, the structure of the system under investigation is interrupted, it is necessary to obtain for it a characteristic polynomial of a closed system. It is the characteristic polyno-closed system, including the regulator and the control object, that is the initial material for carrying out the synthesis procedure. In addition, it is necessary to identify possible intervals of variation of interval-uncertain parameters and perhaps even slightly expand them in order to have full confidence in the calculations, and in the future it will not be necessary to repeat the search procedure for the optimal mode of system operation.
- 7) Having as characteristic data the characteristic polynomial of a closed system and, knowing the form of its coefficients, including, in a certain way, well-known, interval-indefinite and tuning parameters, compose the necessary optimality conditions for each of the vertices of the parametric polyhedron. These optimality conditions will be 2^m (according to the number of vertices of the parametric multi-edge) of the system of equations from (2.18). Those. The characteristic polynomial is represented as the sum of the real $R(X, \eta, \omega)$ and imaginary $I(X, \eta, \omega)$ components, and we compose a system of equations. Equating the equality of the real and imaginary components to zero, the equality to zero of the system of equations containing the equalities of zero of the real and imaginary components, the equality to zero of at least one of the derivatives of the real or imaginary component, and supplemented, in accordance with the number of variables equality to zero of derivatives of different order from the real and imaginary components. For a regulator with one tuning parameter, the optimality conditions will be as follows:

$$i = 1 \div 2^m \begin{cases} R(X_i, \eta_i, \omega_i) = 0; \\ I(X_i, \eta_i, \omega_i) = 0; \\ \frac{\partial R(X_i, \eta_i, \omega_i)}{\partial \eta_i} = 0. \end{cases} \quad (3.20)$$

- Where X_i - the controller tuning parameter in the i -th system operation mode;
 i - the number of modes (or, respectively, the number of vertices of the parametric polyhedron, since the system is considered as multi-mode).
- 8) By allowing this system I — times, in accordance with the number of modes of system operation, we obtain i -controller settings, which provide the maximum degree of system stability in each of the modes. Next, you need to select the mode with the least degree of stability, i.e. The worst mode of operation of the CAY.
 - 9) Having obtained the worst mode, we will check the degree of stability of the system in the remaining modes of operation at the settings of the worst mode. If in all other modes the degree of stability, with the settings of the worst mode, is higher than in the worst mode, then the synthesis process can be considered complete, and the tuning obtained for the worst mode will ensure the degree of system stability in all other possible parameters modes no less than in the worst mode.
 - 10) If, at least in one of the modes of system operation, the degree of stability at the settings providing the worst mode is lower than in the worst mode, then the resulting mode cannot be considered the worst. In this case, the worst mode will be at the point of intersection of the two curves reflecting the change in the degree of stability of the system with a change in the parameter setting of the regulator in two different modes. There is a problem of determining those two curves that will give, at the intersection point, the adjustment of the regulator, which provides a higher degree of stability in the possible operating modes of the system than at this intersection point. This problem can be solved either by building these curves and obtaining the intersection point graphically, or by finding the intersection points of all pairs of curves of degree of stability by solving a system of equations of the form:

$$\begin{cases} R(X, \eta, \omega_1) = 0; \\ I(X, \eta, \omega_1) = 0; \\ R(X, \eta, \omega_2) = 0; \\ I(X, \eta, \omega_2) = 0. \end{cases} \quad (3.21)$$

Where $R(X, \eta, \omega_1)$, $I(X, \eta, \omega_1)$ - the real and imaginary components of the characteristic polynomial describing one mode, and $R(X, \eta, \omega_2)$, $I(X, \eta, \omega_2)$ - Immediate and the imaginary components of the characteristic list describing the second mode. Of all the intersection points obtained, it is necessary to choose the one in which the settings will give the greatest degree of stability, provided that a higher degree of stability is ensured in all other modes. Having obtained such a point, the synthesis of the regulator can be considered complete, since the adjustment of the regulator obtained at this point will give in all possible modes of operation of the system the degree of stability not less than at this point, which presupposes the worst mode.

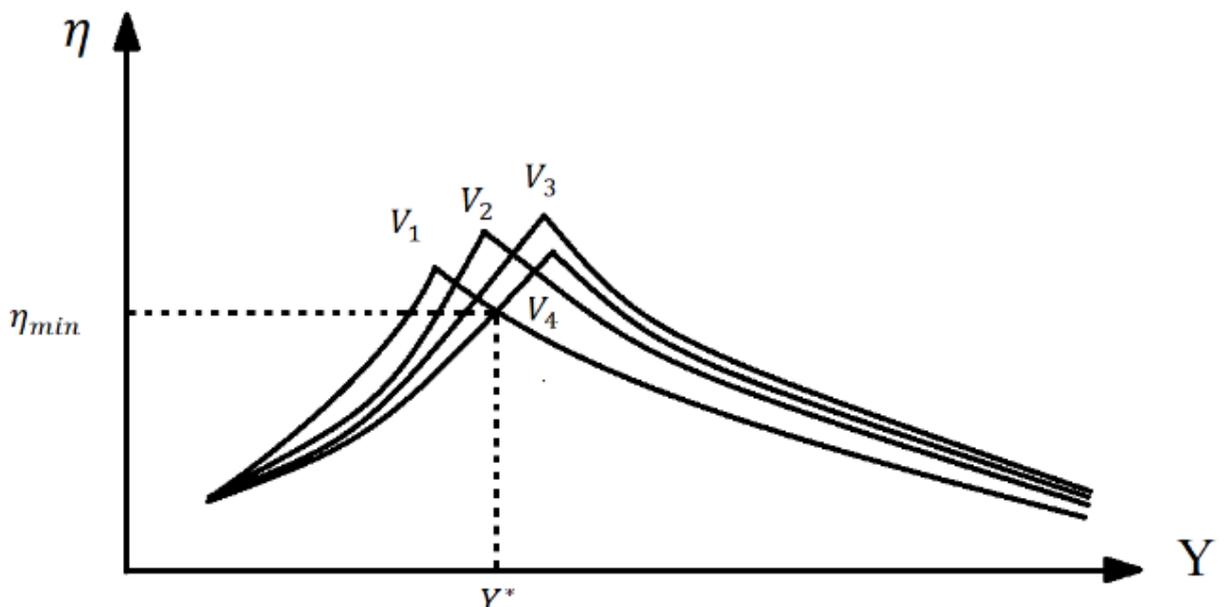


Photo 11 - Finding the optimal controller settings

According to the given sequence of carrying out the synthesis, we compose an algorithm for finding the optimal mode of functioning of the system.