TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Определение допустимых пределов изменения нестабильных параметров системы регулирования скорости двигателя

УДК 681.515:681.513.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т51	Чэн Син		

Руководитель ВКР

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А. В.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Е. И.	к.т.н., доцент		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов С. В.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

	Результаты
Р1	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.
Р2	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
Р3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
Р4	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.
Р5	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.
Р6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
Р7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
Р8	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.
Р9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
Р10	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.
Р11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ _____ Громаков Е. И.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	**ФИО**
158Т51	Чэн Син

Тема работы:

Определение допустимых пределов изменения нестабильных параметров системы регулирования скорости двигателя	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	No 973/с от 07.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14 июня 2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	*Параметры системы автоматического регулирования скорости двигателя* $k_{y1}=10$; $k_{y2}=1$; $k_1=0.02$; $k_0=0.075$; $k_{ТП}=10$; $k_{П}=1$; $k_{Д1}=2\,рад/(В\cdot С)$; $k_{ТГ}=10$; $T_{Э}=0.0015с$.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(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).*	1. *Построение принципиальной, функциональной и структурной схем САР.* 2. *Получение передаточной функции замкнутой САР по управлению и ее характристического уравления.* 3. *Проведение анализа динамических свойств сар в номинальном режиме.* 4. *Построение интервального полинома системы с желаемым качеством.* 5. *Определение области допустимых значений интервальных параметров сар скорости двигателя.* 6. *Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.* 7. *Социальная ответственность.* 8. *Выводы по результатам работы.*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	1. *Классификация факторов, влияющих на появление нестабильных параметров в системах управления* 2. *Функциональная схема САР* 3. *Математические модели звеньев* 4. *Структурная схема САР* 5. *Анализ динамических свойств САР в номинальном режиме* 6. *Блок-схема определения интервалов коэффициентов ИХП* 7. *Моделирование САР в Simulink Matlab*

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

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

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

Заключение

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т51	Чэн Син		

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
Период выполнения осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2019 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.19	*Получение математическая модель САР скорости двигателя с нестабильными параметрами*	*15*
15.03.19	*Проведение анализа динамических свойств сар в номинальном режиме*	*15*
01.04.19	*Построение интервального полинома системы с желаемым качеством*	*15*
15.04.19	*Определение области допустимых значений интервальных параметров сар скорости двигателя*	*15*
04.05.19	*Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение*	*10*
12.05.19	*Социальная ответственность*	*10*
16.05.19	*Выводы по результатам работы*	*10*
30.05.19	*Оформление ВКР*	*10*

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
158Т51	Чэн Син

Школа	ИШИТР	**Отделение школы (НОЦ)**	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Определение допустимых пределов изменения нестабильных параметров системы регулирования скорости двигателя	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	*Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос, наблюдение.*
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	*Проведение предпроектного анализ: оценка потенциальных потребителей, SWOTанализ, определение возможных альтернатив проведения НТ.*
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	*Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НТИ, разработка графика проведения НТИ, планирование бюджета НТИ.*
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	*Расчёт интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности для всех видов исполнения НТИ.*
Перечень графического материала:	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений *2. Матрица SWOT* *3. Альтернативы проведения НИ* *4. График проведения и бюджет НИ* *5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т51	Чэн Син		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
158Т51	Чэн Син

Школа	ИШИТР	**Отделение школы (НОЦ)**	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Определение допустимых пределов изменения нестабильных параметров системы регулирования скорости двигателя	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
4. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	*Характеристика объекта исследования:* – *Анализ динамических свойств системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами* *Области применения:* – *Система автоматизации*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– *правовые нормы трудового законодательства;* – *нормы времени работы и отдыха с использованием ПК;* – *конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов;*
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	*Анализ выявленных вредных факторов:* – *недостаточная освещенность;* – *повышенный уровень шума;* – *повышенный уровень электромагнитного и электрического излучения.* *Анализ выявленных опасных факторов:* – *электрический ток.*
3. Экологическая безопасность:	– *анализ воздействия разработки на литосферу.*
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	*Наиболее типичная ЧС– пожар.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т51	Чэн Син		

Реферат

Выпускная квалифицированная работа содержит 78 страниц текста, 21 рисунков, 23 таблиц.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, нестабильные параметры, интервальные характеристические полиномы, скорость двигателя, номинальной режим, интервальные параметры.

Объектом исследования является САР скорости двигателя с нестабильными параметрами.

Цель работы – определение допустимых пределов изменения нестабильных параметров системы регулирования скорости двигателя.

В процессе выполнения работы использовалась теория автоматического управления и математический аппарат интервального анализа.

Область применения: разработка систем автоматического управления с интервально-неопределенными или изменяющимися в некоторых пределах параметрами.

При выполнении ВКР разработана структурная схема САР скорости двигателя, получена ее передаточная функция и характеристический полином. Выполнен анализ динамических свойств САР в номинальном режиме с заданными номинальными значениями параметров T_M и $T_{ТП}$, которые могут изменяться в процессе работы САР.

Для определения допустимых пределов их изменения использовался метод построения интервального полинома системы с желаемым качеством. Из него были определены области допустимых значений нестабильных параметров T_M и $T_{ТП}$ САР скорости двигателя. Для проверки полученных результатов проведено моделирование САР в Simulink Matlab и установлено, что система при изменении T_M и $T_{ТП}$ сохраняет устойчивость с заданным качеством.

Рассмотрены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности, ресурсосбережения и социальной ответственности.

Оглавление

Введение 13
1 Математическая модель САР скорости двигателя 16
1.1 Функциональная схема САР 16
1.2 Математические модели звеньев 16
1.3 Структурная схема САР 19
1.4 Передаточная функция САР 21
2 Анализ динамических свойств САР в номинальном режиме. 23
2.1 Частотные характеристики САР в номинальном режиме 23
2.2 Переходный процесс в номинальном режиме 24
2.3 Выводы 25
3 Построение интервального полинома системы с желаемым качеством 26
3.1 Коэффициентные показатели качества 26
3.2 Определение допустимых пределов коэффициентов полинома 27
4 Определение области допустимых значений интервальных параметров САР скорости двигателя 30
4.1 Определение интервалов коэффициентов полинома САР с заданной секторной устойчивостью 30
4.2 Определение области интервальных параметров САР 31
4.3 Моделирование САР с допустимыми значениями интервальных параметров 33
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэфективность и ресурсосбережение 35
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 35
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 35
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений 36
5.1.3 Технология QuaD 38
5.1.4 SWOT-анализ 41

5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований 46
5.3 Планирование научно-исследовательских работ 47
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования 47
5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ 49
5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования 53
5.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 54
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 60
6 Социальная ответственность 63
Введение 63
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 63
6.2 Производственная безопасность 65
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследования 66
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов 70
6.3 Экологическая безопасность 71
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 72
6.5 Выводы по разделу 73
Заключение 75
Список используемых источников 76

Введение

В настоящее время в теории автоматического управления хорошо проработаны вопросы анализа качества систем автоматического регулирования (САР) объектами с постоянными параметрами. Однако практически все реальные промышленные САР имеют объекты управления с нестабильными параметрами, изменяющимися в определенных пределах. Эти параметры называется нестабильными.

Нестабильные параметры могут существенно изменять показатель качества функционирования систем управления, который применен при проектировании. Это влияние справедливо для систем уравления, применяемых в различных областях техники: автопилотах и рулевых устройствах самолетов, устройствах поворота зеркал телескопов и антени радиолокационных станций, судовой автоматике, обрабатывающих станках, промышленных роботах и манипуляторах и пр. Исполнительные органы таких систем (гидравлические и электрические машины), объекты управления, цепи коррекции имеют нестабильные параметры [1,2,3]. На параметры систем управления воздействуют факторы, приведенные на рисунке 1.

Рисунок 1 – Классификация факторов, влияющих на появление нестабильных параметров в системах управления

Указанные факторы могут приводить к обратимым или необратимым изменениям параметров систем управления.

В данной работе исследуется САР скорости двигателя. Из таблицы 1 видно, что в системе электромеханическая постоянная времени двигателя (T_M) и постоянная времени тиристорного преобразователя ($T_{ТП}$) являются нестабильными параметрами. Хотя соответствующие номинальные значение этих нестабильных параметров можно найти в техническом описании, но на практике реально эти параметры могут изменяться в каких-то диапазонах.

В данной работе применены методы, основанные на использовании интервальных характеристических полиномов (ИХП) систем автоматического управления [4,5,6], коэффициенты которых могут независимо друг от друга изменяться в известных диапазонах [7]. Необходимо решить задачу: по начальной информации о САР скорости двигателя сформировать ее ИХП, из которого определить допустимые пределы изменения нестабильных параметров, при которых система будет сохранять желательное качество. Под желаемым качеством будем понимать ограничение на колебательность системы, задаваемое сектором, в котором расположены области локализации корней ИХП.

Таблица 1

Нестабильности	Причины нестабильности	Характеристики нестабильности		Параметры системы
		Кратность изменения	Темп изменения	
момент инерции на валу двигателя	Технологическая	5-10	Медленный	Эл.механическая постоянная времени (T_M)
	Изменение геометрии	4-9	Медленный	
	Переключение механизмов	5-10	Быстрый	
Сопротивление якорной цепи. Параметры тиристорного преобразователя	Нелинейность магнитной цепи якоря ротора	2-5	Быстрый	Электромагнитная постоянная времени якорной цепи динамика токового контура ($T_{TП}$)
	Нелинейность характеристик преобразователя	2-10	Быстрый	

1 Математическая модель САР скорости двигателя

1.1 Функциональная схема САР

В исследуемой САР скорости двигателя применен принцип регулирования по отклонению. Он заключается в регулировании выходной координаты САР в зависимости от ее отклонения от заданного входного сигнала в результате действия внешних возмущений.

При отклонении нагрузки САР от своего номинального значения скорость вращения двигателя изменит свое значение. На выходе обратной связи сигнал скорости вращения преобразуется в напряжение.

На сравнивающе-суммирующем устройстве (ССУ) значения задающего сигнала и сигнала обратной связи сравниваются и формируется сигнал отклонения выходной координаты системы. Он подается в САР и при нем достигается требуемое значение скорости вращения двигателя.

На рисунке 1.1 приведена функциональная схема САР скорости двигателя:

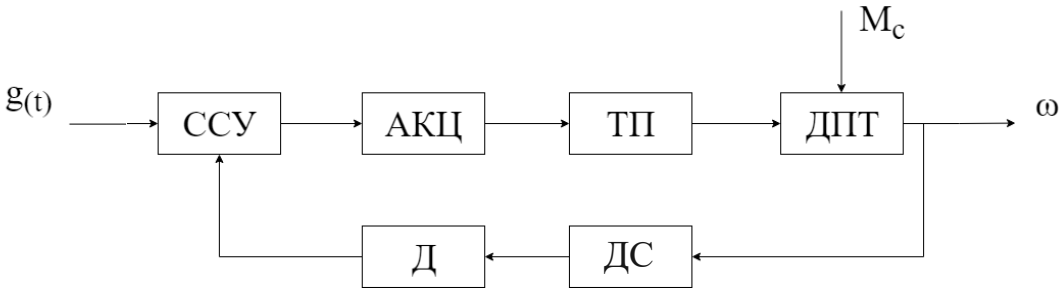

Рисунок 1.1 – Функциональная схема САР

На рисунке 1 обозначены: ССУ – сравнивающе-суммирующее устройство; АКЦ - активная корректирующая цепь; ТП - тиристорный преобразователь; ДПТ - двигатель постоянного тока; ДС - датчик скорости; Д - делитель.

1.2 Математические модели звеньев

На рисунке 1 обозначены: задающее воздействие – g(t) , возмущающий фактор – f(t), выходная величина – ω(t).

Опишем каждый из элементов, входящих в САР скорости вращения двигателя постоянного тока:

1. Задатчик напряжения САР (рисунок 1.2)

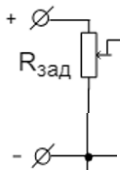

Рисунок 1.2 – Задатчик напряжения

2. Сравнивающее - суммирующее устройство (ССУ) предназначено для сравнения и суммирования сигналов (рисунок 1.3)

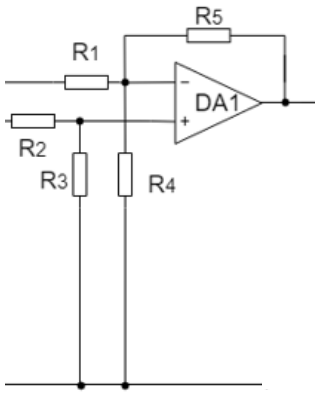

Рисунок 1.3 – суммирующее устройство

$$\Delta U_{вых}(t) = k_{y2} \cdot \Delta U_2(t) - k_{y1} \cdot \Delta U_1(t) \qquad (1.1)$$

где $k_{y1} = \frac{R_5}{R_1}$, $k_{y2} = \frac{R_5}{R_2}$.

3. Активная корректирующая цепь (АКЦ) (рисунок 1.4)

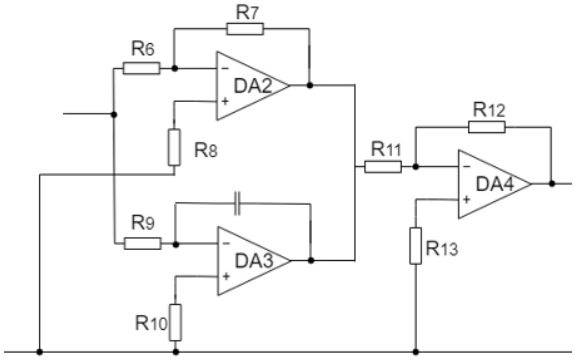

Рисунок 1.4 – Активная корректирующая цепь

$$\Delta U_{вых}(t) = \frac{k_1 \cdot s + k_0}{s} \cdot \Delta U_{вход}(t) \qquad (1.2)$$

где $k_1 = \frac{R_{12}R_7}{R_{11}R_6}$, $k_0 = \frac{R_{12}}{R_{11}R_9C}$.

4. Тиристорный преобразователь (ТП) (рисунок 1.5)

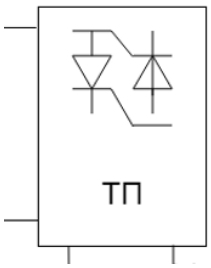

Рисунок 1.5 – Тиристорный преобразователь

$$(T_{ТП} \cdot s + 1)\Delta U_{вых}(t) = K_{ТП} \cdot \Delta U_{вход}(t) \qquad (1.3)$$

где $\Delta U_{вход}(t)$ — напряжение на входе ТП;

$\Delta U_{вых}(t)$ — напряжение на выходе ТП;

$K_{ТП}$ — коэффициент передачи ТП;

$T_{ТП}$ —постоянная времени ТП.

5. Двигатель постоянного тока (ДПТ) (рисунок 1.6)

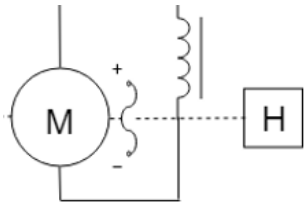

Рисунок 1.6 – ДПТ

$$(T_Э T_M s^2 + T_M s + 1) \cdot \Delta\omega(t) = k_{Д1} \cdot \Delta U_Я(t) - k_{Д2} \cdot (T_Э s + 1) \cdot \Delta M_C(t) \qquad (1.4)$$

где ω — скорость вращения выходного вала;

$U_Я$ — напряжение на якоре;

M_C — момент сопротивления на валу;

$k_{Д1}$ и $k_{Д2}$ — коэффициенты передачи по напряжению и моменту;

$T_Э$ и T_M — электромагнитная и электромеханическая постоянные времени.

6. Датчик скорости (ДС) (рисунок 1.7)

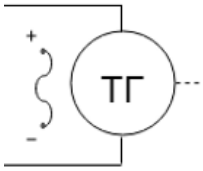

Рисунок 1.7 – Датчик скорости

$$\Delta U_{ТГ}(t) = k_{ТГ} \cdot \Delta\omega(t) \tag{1.5}$$

где ω — скорость вращения вала ДС;

$U_{ТГ}$ — напряжение на выходе ДС;

$k_{ТГ}$ — коэффициент передачи ДС.

7. Делитель (Д) (рисунок 1.8)

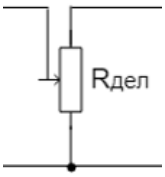

Рисунок 1.8 – Делитель

$$\Delta U_{вых}(t) = k_{П} \cdot \Delta U_{вход}(t) \tag{1.6}$$

где $k_{П} = \dfrac{R^{"}}{R_{дел}}$.

1.3 Структурная схема САР

Для построения структурной схемы САР скорости двигателя необходимо определить передаточные функции всех элементов системы.

Известно, что передаточная функция звена САР определяется как отношение выходного сигнала ко входному в изображениях Лапласа s при

нулевых начальных условиях.

Применим принцип суперпозиции, который заключается в том, что реакция САР на одновременно действующие входные сигналы определяется суммой реакций на каждый из сигналов.

На основе (1.1) запишем передаточную функцию ССУ:

$$W_1(s) = k_{y1},\ W_2(s) = k_{y2} \tag{1.7}$$

По аналогии (1.2) - (1.6) находим передаточные функции остальных звеньев САР:

1. Активная корректирующая цепь (АКЦ):

$$W(s) = \frac{k_1 s + k_0}{s} \tag{1.8}$$

2. Тиристорный преобразователь (ТП):

$$W(s) = \frac{k_{ТП}}{T_{ТП} \cdot s + 1} \tag{1.9}$$

3. Двигатель постоянного тока (ДПТ):

$$W(s) = \frac{k_{Д1}}{T_Э T_M s^2 + T_M s + 1} \tag{1.10}$$

$$W(s) = \frac{-k_{Д2} \cdot (T_Э s + 1)}{T_Э T_M s^2 + T_M s + 1} \tag{1.11}$$

4. Датчик скорости (ДС):

$$W(s) = k_{ТГ} \tag{1.12}$$

5. Делитель (Д):

$$W(s) = k_{П} \tag{1.13}$$

На основании (1.7) - (1.13) полученных передаточных функций

отдельных звеньев САР можно построить структурную схему всей системы по задающему и возмущающему воздействиям (рисунок 1.9). Для этого следует заменить звенья функциональной схемы САР найденными для них передаточными функциями.

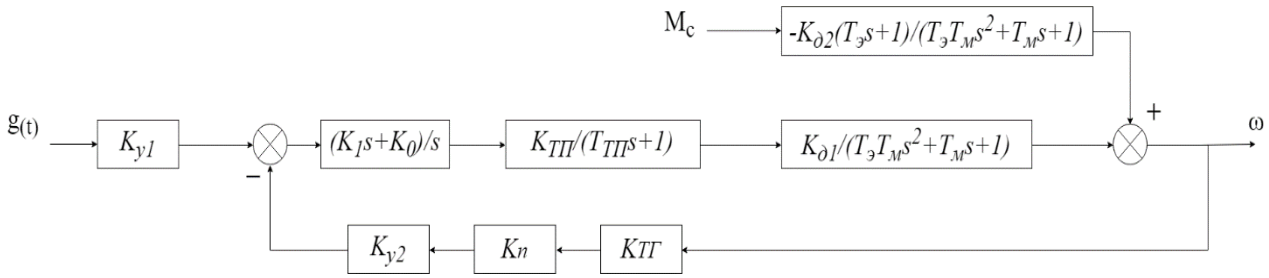

Рисунок 1.9 – Структурная схема САР скорости вращения ДПТ

На основе структурной схемы на рисунке 1.9 составляем структурную схему САР по задающему воздействию (рисунок 1.10):

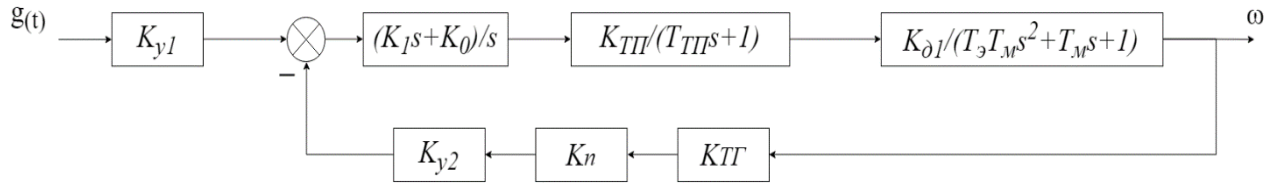

Рисунок 1.10 – Структурная схема замкнутой САР по задающему воздействию

1.4 Передаточная функция САР

Имея полученную на рисунке 1.10 структурную схему можно записать передаточную функцию САР скорости двигателя по задающему воздействию:

$$W_{зам}(s)=\frac{k_{y1}\cdot\dfrac{(k_1s+k_0)k_{ТП}k_{Д1}}{s(T_{ТП}\cdot s+1)(T_Э T_M s^2+T_M s+1)}}{1+\dfrac{(k_1s+k_0)k_{ТП}k_{Д1}k_{y2}k_П k_{ТГ}}{s(T_{ТП}\cdot s+1)(T_Э T_M s^2+T_M s+1)}}$$

$$W_{зам}(s)=\frac{k_{y1}(k_1s+k_0)k_{ТП}k_{Д1}}{s(T_{ТП}\cdot s+1)(T_Э T_M s^2+T_M s+1)+(k_1s+k_0)k_{ТП}k_{Д1}k_{y2}k_П k_{ТГ}}$$

$$W_{зам}(s)=\frac{k_{y1}(k_1s+k_0)k_{ТП}k_{Д1}}{T_{ТП}T_Э T_M s^4+(T_{ТП}T_M+T_Э T_M)s^3+(T_{ТП}+T_M)s^2+(k_1k_{ТП}k_{Д1}k_{y2}k_П k_{ТГ})s+k_0k_{ТП}k_{Д1}k_{y2}k_П k_{ТГ}}$$

(1.14)

На (1.14) основании знаменателем этой передаточной функции является характеристический полином исследуемой САР:

$$W_{хар.пол.}(s) = T_{ТП}T_{Э}T_{М}s^4 + (T_{ТП}T_{М} + T_{Э}T_{М})s^3 + (T_{ТП} + T_{М})s^2 + (k_1k_{ТП}k_{Д1}k_{у2}k_{П}k_{ТГ})s + k_0k_{ТП}k_{Д1}k_{у2}k_{П}k_{ТГ}$$

(1.15)

В общем виде :

$a_4 = T_{ТП}T_{Э}T_{М}$

$a_3 = T_{ТП}T_{М} + T_{Э}T_{М}$

$a_2 = T_{ТП} + T_{М}$

$a_1 = k_1k_{ТП}k_{Д1}k_{у2}k_{П}k_{ТГ}$

$a_0 = k_0k_{ТП}k_{Д1}k_{у2}k_{П}k_{ТГ}$

Значения стабильных параметров заданной САР приведены в таблице 2.

Таблице 2

$k_{у1}$	$k_{у2}$	k_1	k_0	$k_{ТП}$	$k_{П}$	$k_{Д1}, рад/(В \cdot С)$	$k_{ТГ}$	$T_{Э}, с$
10	1	0.02	0.075	10	1	2	10	0.0015

В соответствии с таблицей 1 параметры системы $T_{ТП}$ и $T_{М}$ нестабильны и могут отклоняться от своих номинальных значениях $T_{ТП} = 0.0155$, $T_{М} = 0.656$ в некоторых пределах. Тогда ИХП САР (1.15) можно записать в виде:

$$W_{хар.пол.}(s) = 0.0015 \cdot [T_{ТП}][T_{М}]s^4 + ([T_{ТП}][T_{М}] + 0.0015 \cdot [T_{М}])s^3 + ([T_{ТП}] + [T_{М}])s^2 + 5s + 15$$

где $a_4 = 0.0015 \cdot [T_{ТП}][T_{М}]$, $a_3 = [T_{ТП}][T_{М}] + 0.0015 \cdot [T_{М}]$, $a_2 = [T_{ТП}] + [T_{М}]$, $a_1 = 5$, $a_0 = 15$.

2 Анализ динамических свойств САР в номинальном режиме

2.1 Частотные характеристики САР в номинальном режиме

Структурная схема САР по задающему воздействию приведена на рисунке 1.10. В номинальном режиме $T_{ТП} = 0.0155$, $T_{М} = 0.656$. Зададим все параметры и проведем моделирование САР в Simulink Matlab [11,12] для построения ее частотных характеристик. Модель разомкнутой САР в Simulink показана на рисунок 2.1.

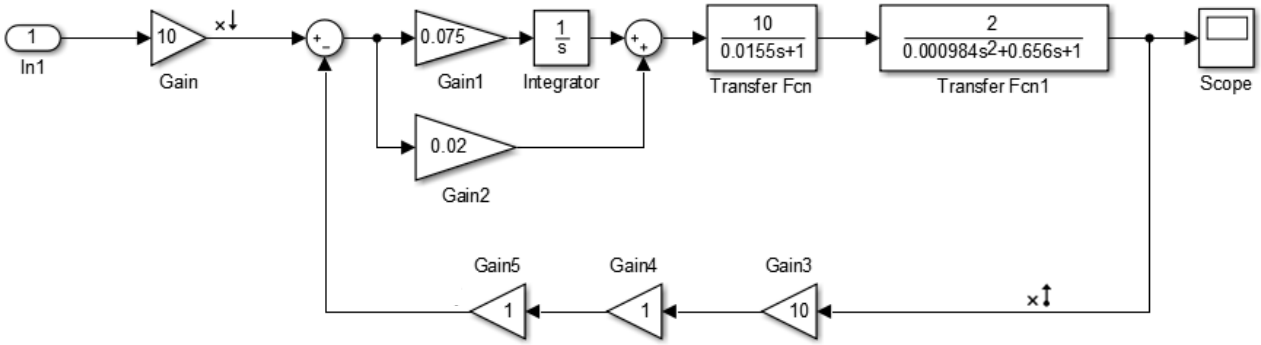

Рисунок 2.1 – Модель разомкнутой САР в Simulink Matlab

В рисунке 2.1 построены частотные характеристики САР [16] в номинальном режиме.

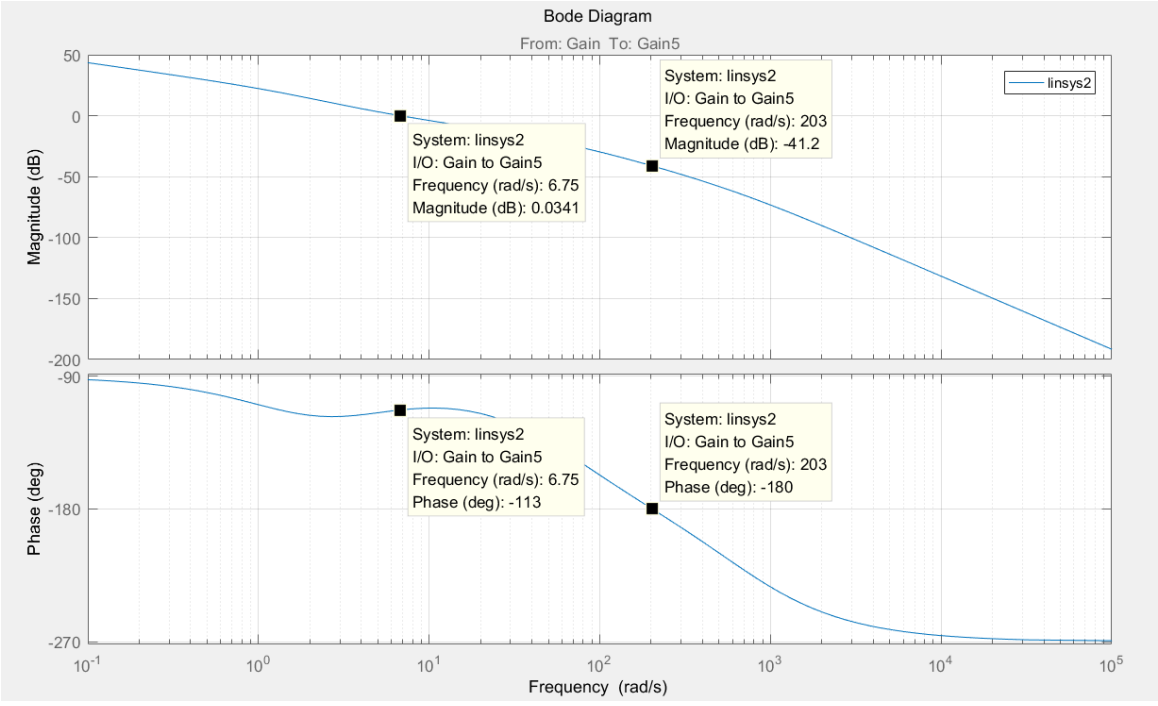

Рисунок 2.2 – Частотные характеристики САР

Из графика определяем запасы устойчивости по фазе и амплитуде $\Delta\varphi = 67^{\circ}$ и ΔL=41.2.

2.2 Переходный процесс в номинальном режиме

Построим переходный процесс САР в в Simulink Matlab [11,12].

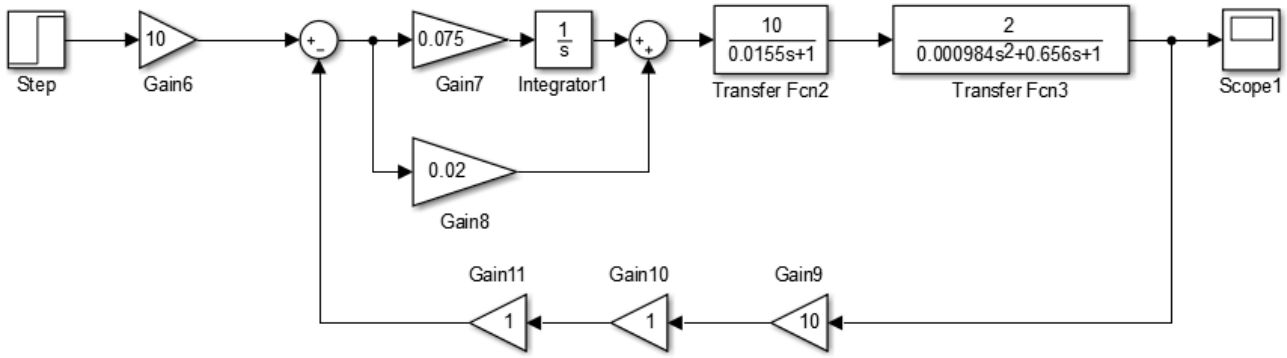

Рисунок 2.3 – Модель замкнутой САР в Simulink Matlab

Переходный процесс показан на рисунке 2.4.

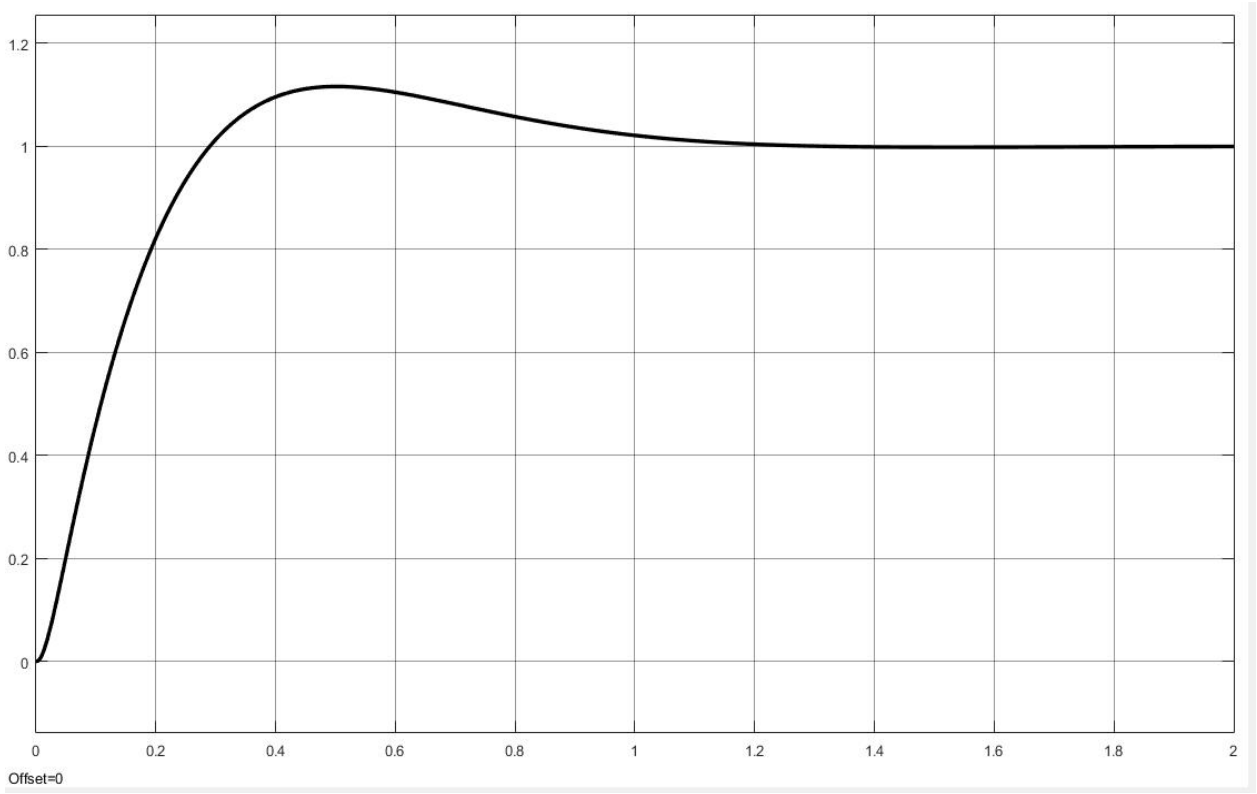

Рисунок 2.4 – Переходный процесс САР

2.3 Выводы

Анализ частотной характеристики САР и ее переходного процесса в номинальном режиме показал, что система имеет достаточно хорошее качество регулирования скорости двигателя. Из рисунка 2.4 видно, что у САР есть небольшое перерегулирование (10%) и время переходного процесса равно 1с.

3 Построение интервального полинома системы с желаемым качеством

3.1 Коэффициентные показатели качества

Пусть линейная стационарная система имеет характеристический полином следующего вида:

$$F_n(\mathrm{s}) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_0, a_i > 0. \quad (3.1)$$

Для дальнейших исследований рассмотрим вспомогательные параметры λ_i , которые зависят от четырех рядом стоящих коэффициентов характеристического полинома (3.1):

$$\lambda_i = a_{i-1}a_{i+2} / \left(a_i a_{i+1}\right), i = \left[1, n-2\right]. \quad (3.2)$$

Так, например, определим $\lambda_1 = a_0 a_3 / \left(a_1 a_2\right)$; $\lambda_2 = a_1 a_4 / \left(a_2 a_3\right)$ и т.д. Указанные параметры λ_i получили название коэффициентных показателей устойчивости системы.

Установлено, что для устойчивости системы с характеристическим полиномом (3.1) достаточно выполнения следующих неравенств

$$\lambda_i < \lambda^*, \forall i = \left[1, n-2\right], \quad (3.3)$$

где $\lambda^* = 0.465$ - вещественный корень уравнения $\lambda(\lambda+1)^2 = 1$.

Доказательство условия (3.3) приведено в работе [7].

Введем в рассмотрение второй параметр δ_{i}, вычисляемый по формуле:

$$\delta_{\mathrm{i}} = \frac{a_i^2}{a_{i-1}a_{i+1}}, \forall i = \left[1, n-1\right]. \quad (3.4)$$

Проявление колебаний в системе имеет место при наличии комплексно-сопряженных корней $s = -\alpha + j\beta$ в решении ее характеристического уравнения. Колебательность системы $\mu = \frac{\beta}{\alpha}$ определяется как отношение мнимой части корня к его вещественной части. Задание определенной колебательности μ требует ограничения области локализации корней характеристического уравнения системы двумя лучами, составляющими с вещественной осью угол

$$\varphi = arctg(\frac{\beta}{\alpha}) = arctg(\mu)\,. \qquad (3.5)$$

Для получения достаточных условий расположения корней в заданном секторе $\pi \pm \varphi$ или сектора $\pm\varphi(\varphi \le \frac{\pi}{2})$, достаточно чтобы

$$\delta_i \ge \delta_\partial(n,\varphi), \forall i = [1, n-1]. \qquad (3.6)$$

Чтобы иметь достаточные условия расположения корней в любых секторах, следует воспользоваться графиками зависимости δ_∂ от угла φ.

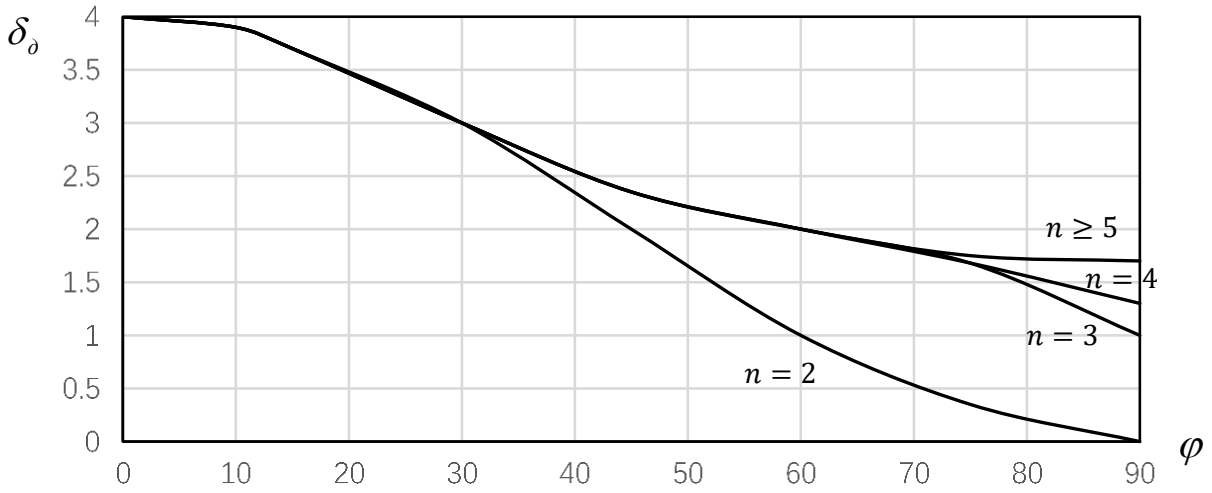

Рисунок 3.1 – Зависимости δ_∂ от φ

Доказательство условия (3.6) приведено в работе [7].

3.2 Определение допустимых пределов коэффициентов полинома

Рассмотрим интервальный характеристический полином (ИХП):

$$D_n(s) = [a_n]s^n + [a_{n-1}]s^{n-1} + \cdots + [a_0]. \qquad (3.7)$$

где $\underline{a_i} \le a_i \le \overline{a_i}$;

$\underline{a_i}$ - минимальное значение коэффициента a_i;

$\overline{a_i}$ - максимальное значение коэффициента a_i.

На основании (3.2) и (3.3) можно заключить: чтобы система с ИХП была робастно устойчива, достаточно выполнения неравенств:

$$\overline{\lambda_i} = \frac{\overline{a_{i-1}}\,\overline{a_{i+2}}}{\underline{a_i}\,\underline{a_{i+1}}} \le \lambda^*, \lambda^* \approx 0,465, \forall i = [1, n-2], \qquad (3.8)$$

где $\underline{a_i}$ - минимальное значение коэффициента a_i;

$\underline{a_{i+1}}$ - минимальное значение коэффициента a_{i+1};

$\overline{a_{i-1}}$ - максимальное значение коэффициента a_{i-1};

$\overline{a_{i+2}}$ - максимальное значение коэффициента a_{i+2}.

На основании (3.4) и (3.6) для расположения корней ИХП в желаемом секторе необходимо выполнение следующих условий:

$$\underline{\delta_i} = \frac{\underline{a_i^2}}{a_{i-1}\,a_{i+1}} \ge \delta_\partial, i = [1, n-2]. \qquad (3.9)$$

где δ_∂ - допустимый показатель колебательности.

$\underline{a_i}$ - минимальное значение коэффициента a_i;

$\overline{a_{i+1}}$ - максимальное значение коэффициента a_{i+1}.

Пусть в характеристическом полиноме $n \ge 3$ и известны пределы не менее двух младших коэффициентов, в которые входят все стабильные параметры системы. Необходимо определить интервалы остальных коэффициентов ИХП, в которые входят нестабильные параметры. При этом корни полинома должны быть локализованы в заданном секторе. В результате алгебраических [8] преобразований (3.8) и (3.9) получим выражения для пределов неизвестных коэффициентов ИХП

$$\overline{a_i} \le \frac{\lambda^* \underline{a_{i+1}}\,\underline{a_{i+2}}}{a_{i+3}}, i = v, v-1, \ldots 0, v = n-g; \qquad (3.10)$$

$$\overline{a_i} \le \frac{\underline{a_{i+1}}^2}{\delta_\partial\, a_{i+2}}, i = v, v-1, \ldots 0, v = n-g, \qquad (3.11)$$

где g - количество коэффициентов ИХП с известными пределами.

На основании (3.10) и (3.11) составлен алгоритм построения интервального полинома по заданному качеству системы. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 3.2

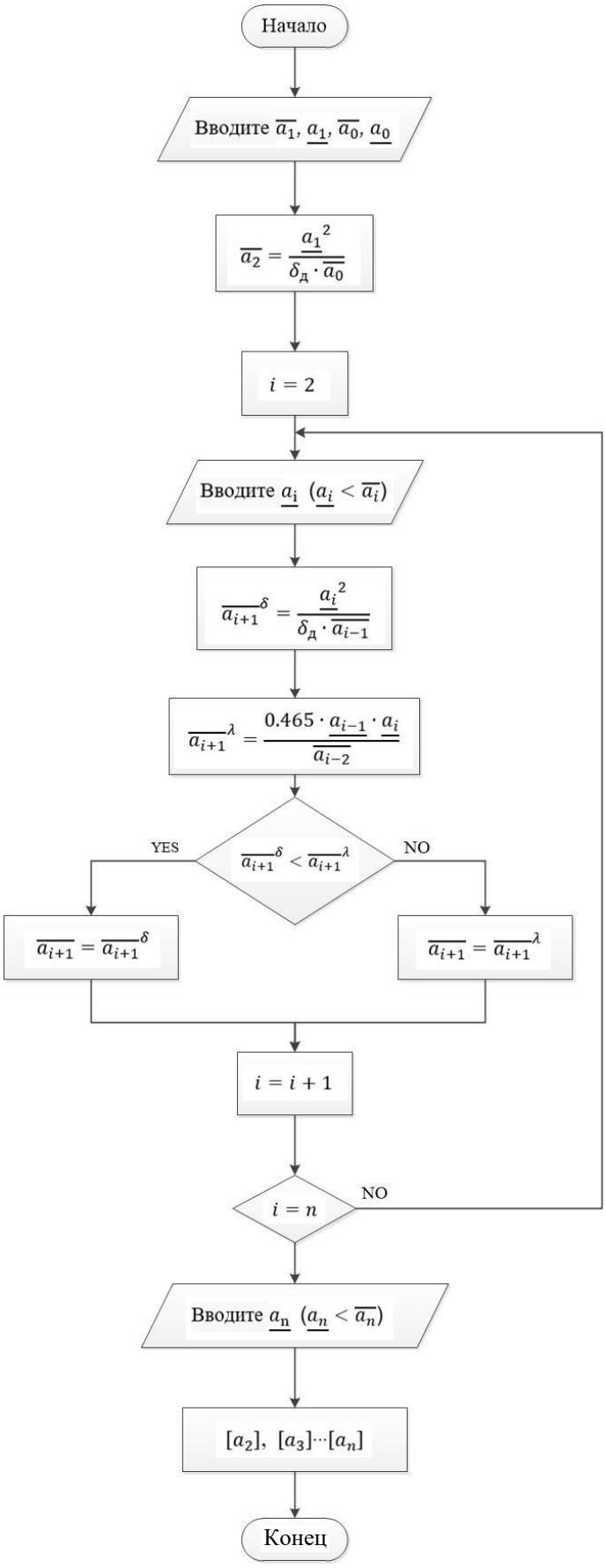

Рисунок 3.2 – Блок-схема определения интервалов коэффициентов ИХП

4 Определение области допустимых значений интервальных параметров САР скорости двигателя

4.1 Определение интервалов коэффициентов полинома САР с заданной секторной устойчивостью

Рассмотрим характеристический полином САР скорости двигателя с интервальным коэффициентами:

$$W_{хар.пол.}(s) = [a_4]s^4 + [a_3]s^3 + [a_2]s^2 + a_1 s^1 + a_0. \quad (4.1)$$

где известны только два коэффициента a_1=5, a_2=15. Требуется определить интервалы $[a_4],[a_3],[a_2]$, обеспечивающие локализацию корней ИХП в секторе $\pm 60^\circ$ $(\delta_\partial$=2). Для решения поставленной задачи при известных коэффициентах $a_1 = 5$ и $a_0 = 15$ на основе (3.9) и (3.10) по разработанному алгоритму получили

$$\overline{a_2} \le \frac{a_1^{\,2}}{\delta_\partial a_0} = \frac{a_1^{\,2}}{2a_0} = 0.8333; \quad (4.2)$$

$$\overline{a_3} \le \frac{\lambda^* a_1 a_2}{a_0} = \frac{0.465 a_1 a_2}{a_0}; \quad (4.3)$$

$$\overline{a_3} \le \frac{a_2^{\,2}}{\delta_\partial a_1} = \frac{a_2^{\,2}}{2a_1}. \quad (4.4)$$

Из (4.2) получили $\overline{a_2}$=0.8333, при заданном $\underline{a_2}$=0.4, далее из (4.3) и (4.4) получим $\overline{a_3}$=0.062, и выберем $\underline{a_3}$=0.006. Далее вычисляем

$$\overline{a_4} \le \frac{\lambda^* a_2 a_3}{a_1} = \frac{0.465 a_2 a_3}{a_1} = 0.0000216; \quad (4.5)$$

$$\overline{a_4} \le \frac{a_3^{\,2}}{\delta_\partial a_2} = \frac{a_3^{\,2}}{2a_2} = 0.00001. \quad (4.6)$$

Получим $\overline{a_4}$=0.0000216 и зададим $\underline{a_4}$=0.00001.

В итоге находим допустимые пределы коэффициентов ИХП $[a_4] = [0.00001, 0.0000216], [a_3] = [0.006, 0.062], [a_2] = [0.4, 0.8333]$.

4.2 Определение области интервальных параметров САР

Выразим коэффициенты ИХП через интервальные параметры САР:

$$a_4 = 0.0015 \cdot [T_{ТП}][T_M]$$

$$a_3 = [T_{ТП}][T_M] + 0.0015 \cdot [T_M]$$

$$a_2 = [T_{ТП}] + [T_M]$$

$$a_1 = 5$$

$$a_0 = 15$$

На основании известных интервалов $[a_4] = [0.00001, 0.0000216]$, $[a_3] = [0.006, 0.062]$, $[a_2] = [0.4, 0.8333]$ запишем

$$0.00001 \le 00.0015 \cdot [T_{ТП}][T_M] \le 0.0000216$$

$$0.006 \le [T_{ТП}][T_M] + 0.0015 \cdot [T_M] \le 0.062$$

$$0.4 \le [T_{ТП}] + [T_M] \le 0.8333$$

Далее составим систему интервальных неравенств

$$[T_{ТП}] \le \frac{0.0000216}{0.0015 \cdot [T_M]}$$

$$[T_{ТП}] \ge \frac{0.00001}{0.0015 \cdot [T_M]}$$

$$[T_{ТП}] \le \frac{0.062}{[T_M]} - 0.0015$$

$$[T_{ТП}] \ge \frac{0.006}{[T_M]} - 0.0015$$

$$[T_{ТП}] \le 0.8333 - [T_M]$$

$$[T_{ТП}] \ge 0.4 - [T_M]$$

Решим данную систему графически с использованием Mathcad. Результаты решения показаны на рисунке 4.1.

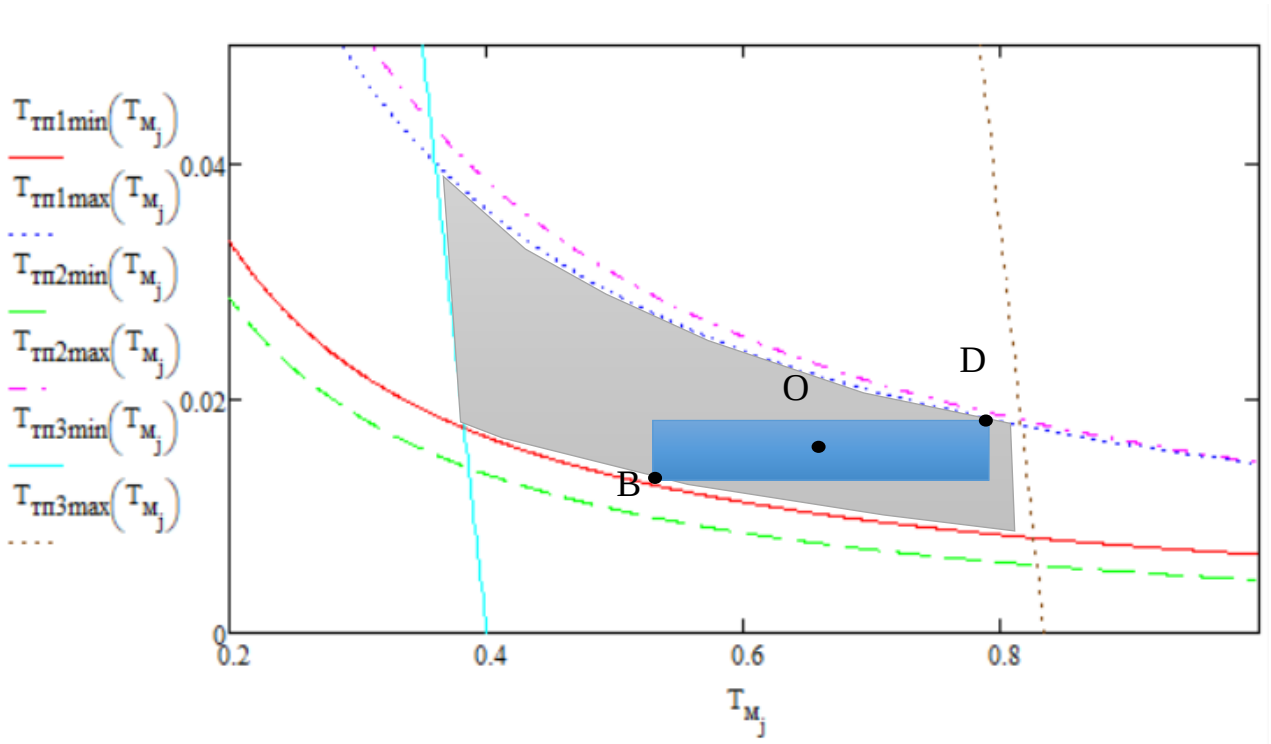

Рисунок 4.1 – Область допустимых значений нестабильных параметров САР

Серая часть рисунка - это область нестабильных параметров, соответствующая заданному качеству САР. Выбираем из нее прямоугольную область, где $[T_M]=[0.512, 0.8]$, $[T_{ТП}]=[0.013, 0.018]$. Из рисунка видно, что номинальные значения коэффициентов (точка О) находятся в прямоугольной области. Из рисунка 4.1 выбирем крайние точки нижнего левого и верхнего правого углов прямоугольной области (точки: B(0.512,0.8), D(0.8,0.018)). Вычислим корни характеристического полинома САР в этих точках:

$$B \quad \text{polyroots}\begin{pmatrix} 15.0 \\ 5.0 \\ 0.525 \\ 0.007424 \\ 0.000009984 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -665.727 \\ -67.222 \\ -5.32 + 2.295i \\ -5.32 - 2.295i \end{pmatrix} \qquad D \quad \text{polyroots}\begin{pmatrix} 15.0 \\ 5.0 \\ 0.818 \\ 0.0156 \\ 0.0000216 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -665.868 \\ -49.829 \\ -3.263 - 3.207i \\ -3.263 + 3.207i \end{pmatrix}$$

Рисунок 4.2 – Корни характеристического полинома САР в точке B (0.512,0.8) и точке D (0.8,0.018)

Вычислим углы $\varphi_B=\arctan(\frac{2.295}{5.32})=23.3^\circ \le 60^\circ$, $\varphi_D=\arctan(\frac{3.207}{3.263})=44.5^\circ \le 60^\circ$. В результате вычислений можно сделать вывод, что все корни ИХП САР лежат в

заданном секторе.

4.3 Моделирование САР с допустимыми значениями интервальных параметров

Для проверки работы САР в условиях нестабильности параметров в точках B и D, используем Simulink Matlab [11,12]. Схема модели САР показана на рисунке 4.3

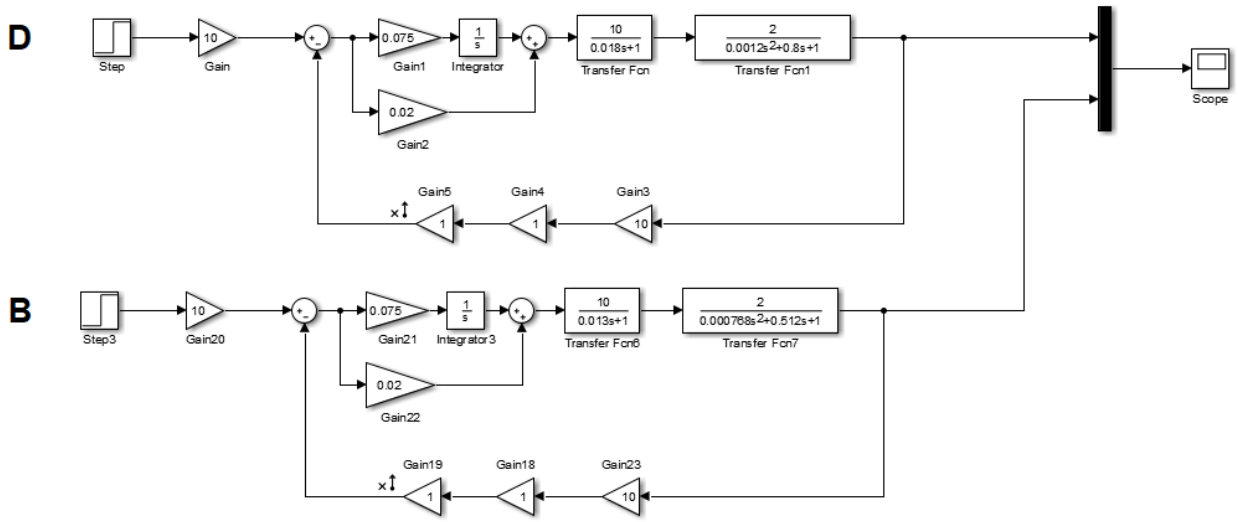

Рисунок 4.3 – Моделирование САР в Simulink Matlab

Переходные процессы САР в указанных точках построены на рисунке 4.4.

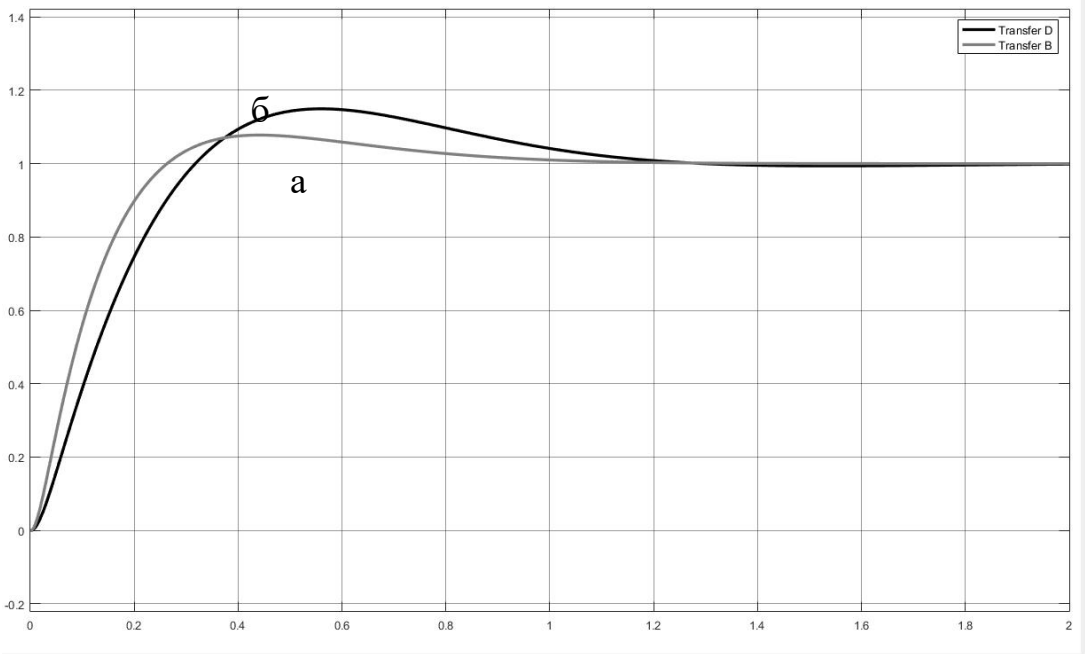

Рисунок 4.4 – Переходные процессы: а) в точке B (0.512,0.8) б) в точке D (0.8,0.018)

Из рисунка 4.4 видно, что САР при изменении нестабильных параметров остается устойчивой с максимальным перерегулированием (15%) и максимальным временим переходного процесса 1.2с.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется ни сколько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов [40].

Цель работы – определение допустимых пределов изменения нестабильных параметров системы регулирования скорости двигателя.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет, продавятся в будущем разработка. В сваю очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга) [17].

Главным потребителем станет любое предприятие, которое занимается производством малогабаритной продукции и транспортирует его, используя паллет. Потребность в приборах одного предприятия от 1 до 10 в зависимости от масштаба предприятия.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка спроса на систему контроля

Форма выпуск систем управления / Потребитель	Единичный выпуск	Партия
Мелкое предприятие/физическое лицо		
Крупное предприятие		

- существует спрос; - спрос отсутствует.

Анализ карты сегментирования рынка показал, что спрос на акустическую систему контроля паллет обеспечивают, как и физические лица (маркшейдеры), так и мелкие и крупные предприятия по производству малогабаритной продукции. Спрос на партию приборов показывают только крупные предприятия, тогда как спрос на единичный экземпляр показывают все выделенные сегменты потребителей. Ориентация на единичный выпуск прибора способствует занятию всех выделенных сегментов рынка, а также возможности настройки конечного продукта индивидуально под цели каждого заказчика, что так же увеличит конкурентоспособность продукта.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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. Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, в таблице 5.2.

Для сравнения системы была взята «Система проверки пустых поддонов

(LEER PALETTEN KONTROLLE - LPK)» немецкой компании KÖHL.

Сравнению параметров двух систем подлежат:

– надежность – разрабатываемая система более надежна в эксплуатации;
– точность измерения – определение величину размера наименьшеговыявляемого дефекта;
– энергопотребление – новое устройство экономичнее;
– скорость измерений – определяет количество контролируемых паллет вединицу времени;
– простота обслуживания для технического персонала.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических Решений

Критерии оценки	**Вес критерия**	**Баллы**		**Конкуренто-способность**	
		$Б_ф$	$Б_{к1}$	$К_ф$	$К_{к1}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Надежность	0,3	4	3	1,2	0,9
Точность измерения	0,2	4	4	0,8	0,8
Энергоэкономичность	0,1	5	3	0,5	0,3
Скорость измерений	0,2	4	3	0,8	0,6
Простота обслуживания для технического персонала	0,1	5	2	0,5	0,2
Цена	0,1	5	3	0,5	0,3
Итого	1			4,3	3,1

Расчет конкурентоспособности выполняется по следующей формуле:

$$K = \sum (В_i \times Б_i), \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научно-технической продукции;

$В_i$ – весомость i-го показателя, проставляемая в долях единицы, при этом $В_i = 1,0$;

$Б_i$ – баллы i-го фактора конкурентоспособности от 1 до 5 (1 – самая слабая позиция, 5 – самая сильная);

$i = 1 \ldots n$ – количество рассматриваемых факторов.

Как видно из таблицы 5.2 конкурентоспособность разрабатываемого устройства выше по сравнению с продуктом-аналогом. Устройство лучше по комплексу параметров устройства-аналога и его разработка считается целесообразной и экономически выгодной.

5.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений, описанных в разделе 5.1.2.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтопригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 5.3).

В соответствии с технологией QuaDкаждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 5.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	**Вес кри-терия**	**Баллы**	**Максимальный балл**	**Относительное значение** (3/4)	**Средневзвешенное значение** (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0.05	20	100	0.2	0.010
2.Помехоустойчивость	0.03	50	100	0.5	0.015

Продолжение таблицы 5.3

3. Надежность	0.09	30	100	0.3	0.027
4.Унифицированность	0.07	20	100	0.2	0.014
5.Уровень материалоемкости разработки	0.06	60	100	0.6	0.036
6. Уровень шума	0.07	70	100	0.7	0.049
7. Безопасность	0.02	20	100	0.2	0.004
8.Потребность в ресурсах памяти	0.01	30	100	0.3	0.003
9.Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.03	50	100	0.5	0.015
10.Простота эксплуатации	0.04	60	100	0.6	0.024
11.Качество интеллектуального интерфейса	0.05	20	100	0.2	0.010
12.Ремонтопригодность	0.07	30	100	0.3	0.021
Показатели оценки коммерческого потенциала 0.3разработки					
13.Конкурентоспособность продукта	0.01	30	100	0.3	0.003
14.Уровень проникновения на рынок	0.03	60	100	0.6	0.018
15.Перспективность рынка	0.04	40	100	0.4	0.016
16. Цена	0.03	20	100	0.2	0.006
17.Послепродажное обслуживание	0.08	50	100	0.5	0.040
18.Финансовая эффективность научной разработки	0.09	40	100	0.4	0.036
19.Срок выхода на рынок	0.07	10	100	0.1	0.007
20.Наличие сертификации разработки	0.06	20	100	0.2	0.012
Итого	**1**				

В оценочной карте для сравнения конкурентных технических решений, обозначения $Б_ф$ и $К_ф$ это ОВЕН ПЛК100; $Б_{к1}$ и $К_{к1}$ это ICP DAS.

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

Позиции конкурентов особенно уязвимы в степени проникновения на рынок. Кроме того, уязвимостью является предполагаемый срок эксплуатации разработки. Конкурентное преимущество устройства в функциональной мощности, сроке выхода на рынок и конкурентоспособности.

5.1.4 SWOT-анализ

SWOT – анализ метод стратегического планирования, используемый для оценки факторов и явлений, влияющих на проект или предприятие SWOT-Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Все факторы делятся на четыре категорий, Поскольку SWOT анализ в общем виде не содержит экономических категорий его можно применять к любым организациям, отдельным людям и странам для построения стратегий в самых различных областях деятельности [17].

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. К сильным сторонам можно отнести в первую очередь точность измерения и безопасность также энергоэфективность. Сами сейсмодатчики не имеют негативного влияния на окружавшую среду. Все результаты отображены в матрице SWOT (Таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Матрица SWOT

Сильные стороны	**Слабые стороны**
С1. Высокая надежность С2.Стабильность в получении результатов измерения С3. Простота эксплуатации. С4. Малая потребляемая мощность С5.Получение реальных изображений, положения и размеров дефектов.	Сл1. Сильно зависит от температуры, влажности окружающей среды Сл2. Низкая помехозащищённость Сл3. Необходимость при измерении фиксировать фазированную решетку максимально перпендикулярно к поверхности поддоны
Возможности	**Угрозы**
В1. Изменение параметров устройства, сигнала и метода обработки его обработки для конкретного заказчика В2. Увеличение спроса на систему В3. Повышение стоимости проекта В4. Низкая конкуренция на рынке среди подобных устройств (устройство, реализующее данный метод измерения будет высоко конкурентоспособным)	У1. Возможное повышение себестоимости прибора, реализующего данный метод обработки сигнала, вследствие экономической политики У2. Консерватизм предприятий, нежелание внедрения новых технологий на производство взамен старым У3. Несвоевременное финансирование проекта

Далее перейдем ко второму этапу SWOT-анализа это выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого построим интерактивную матрицу проекта. Интерактивные матрицы строятся для всех сочетаний: Сильные стороны – Возможности; Сильные стороны – Угрозы; Слабые стороны – Возможности; Слабые стороны – Угрозы. Каждый фактор помечается либо

знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Результаты второго этапа SWOT-анализа представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны				
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	-	+	+
	В2	+	+	+	+	+
	В3	+	+	+	-	+
	В4	+	+	+	+	+
Угрозы проекта	У1	+	+	-	+	+
	У2	0	0	0	0	+
	У3	0	0	0	0	0
		Слабые стороны				
		Сл1	Сл2	Сл3		
Возможности проекта	В1	+	+	+		
	В2	-	-	-		
	В3	-	-	-		
	В4	-	-	-		
Угрозы проекта	У1	-	-	-		
	У2	0	0	+		
	У3	0	0	0		

Из интерактивной матрицы наиболее весомые сильные стороны проекта это «Высокая точность» и «Больший охват позволяет, как уменьшать скорость сканирования объекта, так и увеличивать разрешающую способность контроля, или совмещать их».

Таблица 5.6 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	**Слабые стороны**
	1) Высокая надежность 2) Стабильность в получении результатов измерения 3) Простота эксплуатации. 4) Малая потребляемая мощность 5) Получение реальных изображений, положения и размеров дефектов.	1) Сильно зависит от температуры, влажности окружающей среды 2) Низкая помехозащищённость 3) Необходимость при измерении фиксировать фазированную решетку максимально перпендикулярно к поверхности поддоны
Возможности 1)Изменение параметров устройства, сигнала и метода обработки его обработки для конкретного заказчика 2)Увеличение спроса на систему 3)Повышение стоимости проекта 4) Низкая конкуренция на рынке среди подобных устройств (устройство, реалиующее данный метод измерения будетвысоко конкурентоспособным)	Хорошие технические характеристики, индивидуальный подбор регулируемых параметров измерительного прибора позволяют занять свою рыночную нишу, особенно в условиях низкой конкуренции на рынке.	Данные проблемы присущи всем типам подобных устройств. Низкая конкуренция на рынке позволит прибору найти свое место на рынке.

Продолжение таблицы 5.6

Угрозы 1) Возможное повышение себестоимости прибора, реализующего данный метод обработки сигнала, вследствие экономической политики 2) Консерватизм предприятий, нежелание внедрения новых технологий на производство взамен старым 3) Несвоевременное финансирование проекта	Особенности устройства: высокая точность измерения и стабильность получения результата, позволят даже при повышении стоимости прибора сохранить на него спрос. Использование данного прибора способно заметно повысить эффективность выявления дефекта в поддонах.	Улучшение помехозащищенности может привести к повышению себестоимости прибора, реализующего данный метод обработки сигнала.

Был проведен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта с выявлением слабых и сильных сторон их возможностей и угроз. Малая потребляемая мощность является сильной стороной проекта, что повлияет на повышение конкурентоспособности и спроса. Технические характеристики разрабатываемого прибора лучше, чем у аналога, что играет важную роль.

5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Кано. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

В противном случае, если разработка не относится к вышеописанным стадиям, рекомендуется использовать морфологический подход, так как возникают сложности применения вышеописанных методов на предпроектной и начальной стадиях проведения научных исследований.

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

1. Точная формулировка проблемы исследования.

2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.

3. Раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица.

4. Выбор наиболее желательных функционально конкретных реше-ний. На этом этапе описываются возможные варианты решения постав-ленной проблемы с позиции ее функционального содержания и ресурсосбережения. Для данной матрицы это может быть А3Б3В2Г2Д5Е1Ж1З5И1.

В рамках бакалаврской работы при использовании морфологиче-ского подхода следует предложить не менее трех вариантов решения технической задачи, поставленной в работе, которые будут использо-ваться в дальнейших расчетах.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

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 5.7.

Таблица 5.7 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	**Исполнители**	**Загрузка исполнителей**
Подготовительный этап		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%

Продолжение таблицы 5.7

Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 80% И – 80%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 100%
Изучение предметной области	И	И – 100%
Анализ динамических свойств системы автоматического регулирования скрости двигателя с интервальными параметрами		
Расчет модели, приведение полученных результатов	НР, И	НР – 30% И – 100%
Оформление методики синтеза регулятора	НР, И	НР – 10% И – 100%
Экономическое обоснование		
Анализ перспективности разработки,оценка целесообразности разработки и затрат	И	И – 100%
Анализ опасных и вредных производственных факторов		
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	И – 100%
Документирование		
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР – 10% И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 100% И – 100%

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

– технико-экономическим;

– опытно-статистическим.

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

– аналоговый;

– экспертный.

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

$$t_{ожс} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (5.2)$$

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

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

Для выполнения перечисленных в таблице 5.8 работ требуются специалисты:

– инженер;

– научный руководитель.

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

$$T_{РД} = \frac{t_{ожс}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (5.3)$$

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

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

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

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

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

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:

$$T_К = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (5.5)$$

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

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

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

$$T_К = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1.205$$

В таблице 5.8 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Таблица 5.8 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	**Исполнители**	**Продолжительность работ, дни**			**Длительность работ, чел/дн.**			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	**НР**	**И**	**НР**	**И**
Подготовительный этап								
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	2	1,4	1,68	-	2,02	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	4	6	4,8	2,88	5,76	3,47	6,93
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,4	1,68	1,68	2,02	2,02
Изучение предметной области	И	7	10	8,2	-	9,84	-	11,85
Анализ динамических свойств системы автоматического регулирования скрости двигателя с интервальными параметрами								
Расчет модели, приведение полученных результатов	И	14	20	16,4	1,39	19,68	1,67	23,69
Оформление методики синтеза регулятора	И	5	7	5,8	-	6,96	-	8,39

Продолжение таблицы 5.8

Экономическое обоснование								
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	3	5	3,8	–	4,56	-	5,49
Анализ динамических свойств системы автоматического регулирования скрости двигателя с интервальными параметрами								
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	1	2	1,4	-	1,68	-	2,02
Документирование								
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	5	3,8	–	4,56	-	5,49
Оформление графического материала	И	3	5	3,8	–	4,56	-	5,49
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,4	1,68	1,68	2,02	2,02
Всего:				52,2	9,31	60,96	11,2	73,39

5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$СГ_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{K=1}^{i} TP_K}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{K=1}^{i}\sum_{j=1}^{m} TP_{Km}}{\sum_{K=1}^{I}\sum_{j=1}^{m} TP_{Km}}, \quad (5.6)$$

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

$TP_i\ (TP_K)$ – трудоемкость i-го (K-го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

TP_i^H – накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении;

$TP_i^j\ \ (TP_K^j)$ – трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе,

здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, $m = 2$.

Результаты вычислений отражены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i,%	$СГ_i$,%
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2,03	2,03
Составление и утверждение ТЗ	10,47	12,5
Разработка календарного плана	4,07	16,57
Изучение предметной области	12,93	29,5
Расчет модели, приведение полученных результатов	25,67	55,17
Оформление методики синтеза регулятора	15,87	71,04

Продолжение таблицы 5.9

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

Таблица 5.10 – Линейный график работ.

Этап	Н	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	2,02	-											
2	3,47	6,93											
3	2,02	2,02											
4	-	11,85											
5	1,67	23,69											
6	-	8,39											
7	-	5,49											
8	-	2,02											
9	-	5,49											
10	-	5,49											
11	2,02	2,02											

НР – И –

5.3.4 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;
- затрат на специальное оборудование
- амортизационные расходы;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата
- отчисления в внебюджетные фонды;
- затрат на научные и производственные командировки.
- Контрагентные расходы

5.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

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 5.5.

Таблица 5.11 – Расходные материалы

Наименование материалов	**Цена за ед., руб**	**Количество**	**Сумма, руб**
Бумага для принтера формата А4	150	2уп.	300
Ручка шариковая	10	2 шт.	20
Карандаш	10	1 шт.	10
Оплетка для расчетно-пояснительной записки	40	1 шт.	40
Итого:			**370**

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

$$C_{MAT} = 370 \times 1.05 = 388.5 руб.$$

5.3.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Специальное оборудование, необходимое для проведения ВКР – компьютер (ПК, монитор, клавиатура, компьютерная мышь, либо ноутбук и компьютерная мышь) общей стоимостью 40000 руб. [18]

Таблица 5.12 – Перечень затрат на специальное оборудование

Наименование	**Кол-во, шт.**	**Цена за единицу, руб.**	**Сумма, руб.**
Компьютер	1	40000	40000
Всего за материалы			40000

5.3.4.3 Расчет амортизационных расходов

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

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = H_A \cdot Ц_{ОБ} \cdot m \cdot n, \quad (5.7)$$

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

$Ц_{ОБ}$ – цена оборудования, $Ц_{ОБ}$=40000 *руб.*;

m – срок службы компьютера, m=3 года;

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

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = 33,3\% \cdot 40000 \cdot 3 \cdot 1 = 40000 руб.$$

5.3.4.4 Основная заработная плата исполнителей темы

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:

$$ЗП_{ДН-Т} = MO / 24.83 \quad (5.8)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 5.6. 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 5.2. Также был принят во внимание учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы $K_{ПР} = 1.1$; $K_{доп.ЗП} = 1.188$; $K_P = 1.3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_И = 1.1 \times 1.188 \times 1.3 = 1.699$.

Таблица 5.13 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	**Оклад, руб./мес.**	**Среднедневная ставка, руб./день**	**Затраты времени, дни**	**Коэффи-циет**	**Фонд з/платы, руб.**
НР	23264,86	936,97	9	1,699	14327,21
И	7915	318,77	61	1,699	33037
Итого:					**47364,21**

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$C_{ОСН} = 47364.21 руб .$$

5.3.4.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$C_{доп} = K_{доп} \cdot C_{осн}, \quad (5.9)$$

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

$$C_{доп} = K_{доп} \cdot C_{осн} = 47364.21 \times 0.12 = 5683.71 руб.$$

5.3.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = K_{внеб}(C_{осн} + C_{доп}), \quad (5.10)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в

табличной форме (табл. 5.3.4.5.1).

Таблица 5.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	**Основная плата, т. Р.**	**Доп. Плата, т. Р.**
	И1	И1
НР	14327,21	1719,27
И	33037	3964,44
Коэф.Отчислений	0,28	
Итого		
И1	(14327,21+33037+1719,27+3964,44)*0,28=14,85 тыс. руб.	

5.3.4.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки

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

Там нет связанных сборов за наш проект.

5.3.4.8 Контрагентные расходы

Наш проект - программа без контрагентных расходов.

5.3.4.9 Накладные расходы

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

$$C_{накл} = (суммастатей \times \frac{1}{7}) \cdot K_{нр}, \quad (5.11)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.3.4.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 5.15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб
	И1
1. Фин. затраты	370
2. Расходы на спец. Оборуд.	40000
3. Амортизационные расходы	40000
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	47364,21
5. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5683,71
6. Отчисления во внебюджетные фонды	14850
7. Затраты на научные и производственные командировки	0
8. Контрагентские расходы	0
9. Накладные расходы	3388,98
10. Бюджет затрат НТИ	151656,9

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

Интегральный фин. показатель эффективности:

$$I_{fin}^{isp} = \frac{\Phi_{пи}}{\Phi_{мах}}$$

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

Φ_{max} – максимальный показатель стоимости научного исследования

$$I_{fin}^{isp1} = \frac{\Phi_{пи1}}{\Phi_{max}} = \frac{151656,9}{151656,9} \approx 1$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл.5.15).

Таблица 5.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

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

Таблица 5.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	**Показатели**	**Исп.1**
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.814
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.4
3	Интегральный показатель эффективности	5.406
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	—

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

6 Социальная ответственность

6.1 Введение

Объектом исследования является САР скорости двигателя с нестабильными параметрами.

Цель работы – определение допустимых пределов изменения нестабильных параметров системы регулирования скорости двигателя.

В процессе выполнения работы использовалась теория автоматического управления и математический аппарат интервального анализа.

Область применения: разработка систем автоматического управления с интервально-неопределенными или изменяющимися в некоторых пределах параметрами.

При анализе динамических свойств системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами, работа выполняется на компьютере, состоящего из системного блока и монитора, Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером.

6.2 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 контролирующих предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности,

Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

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

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

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

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

психическом напряжении.

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

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [19].

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 возникновение заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.

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

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

6.3 Производственная безопасность

Объектом исследования является моделирование системы.

При анализе динамических свойств системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами, работа выполняется на компьютере, состоящего из системного блока и монитора,

Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером.

В связи с этим в данном разделе будет разработан комплекс мероприятий, который позволит свести к минимуму или ликвидировать негативные влияния факторов, возникающие при моделировании системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами[20].

6.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследования

Цылый ряд негативных факторов, которые может создать объект исследования САР скорости двигателя с интервальными параметрами, показанный в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при исследовании ИПП

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-74; СанПиН 2.2.4-548-96 [25]; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [26]; ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [27]; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [24].
2.Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	

Продолжение таблицы 6.1

4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

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 [20]. 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 6.2[21].

Таблица 6.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПК

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

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. При работе с ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата: температура воздуха, поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться следующие требования:

Таблица 6.3 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочем месте производственных помещений для категории работ Iа

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

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 блесткости;

– ухудшенная контрастность между изображением и фоном.

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3…0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5…1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [22]. Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно. 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 [23]. Источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала.

Таблица 6.4 – Допустимый уровень звукового давления по видам трудовой деятельности [29]

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

6.3.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

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:

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

– металлогалогенная 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 [22].

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014[24] эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 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 постановкой перегородок, диафрагм;

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

6.4 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 [25][26]. Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха.

Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении могут выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве. Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) должны быть соблюдены в соответствии с [27].

6.5 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 пробою 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[28].

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.

6.6 Выводы по разделу

В данном разделе рассмотрены вопросы по обеспечению безопасности персонала, работающего на оборудовании. На персонал могут воздействовать следующие опасные и вредные производственные факторы: повышенный

уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны; отклонение показателей микроклимата в помещении; нервно-психические перегрузки; электрический ток. Все эти опасные и вредные факторы могут негативно влиять на человека, и, для исключения или уменьшения этого влияния, необходимо использовать средства коллективной и индивидуальной защиты. При соблюдении всех необходимых мер безопасности, в том числе соблюдение требований к организации рабочих мест оборудование может эксплуатироваться с наименьшей степенью риска для здоровья человека.

Заключение

В результате данной работы была проведена оценка допустимых пределов изменения нестабильных параметров САР скорости двигателя, при которых она сохраняет желаемое качество работы. Для этого была построена математическая модель САР и получено её характеристическое уравнение. Проведен анализ динамических свойств САР в номинальном режиме с известными номинальными значениями параметров T_M и $T_{ТП}$, которые могут изменяться в процессе работы САР. Для определения допустимых пределов их изменения использовался метод построения интервального полинома системы с желаемым качеством. Из него были определены области допустимых значений нестабильных параметров T_M и $T_{ТП}$ САР скорости двигателя. Для проверки полученных результатов проведено моделирование САР в Simulink Matlab и установлено, что система при изменении T_M и $T_{ТП}$ сохраняет устойчивость с заданным качеством.

Рассмотрены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения, вопросы социальной ответственности.

Список используемых источников

1. Поляк Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков – М.: Наука, 2002. – 303 с.
2. Barmish B.R. The robust root locus / B.R. Barmish, R. Tempo // Automatica. – 1990. – Vol. 26, № 2. – P. 283-292.
3. Chen C.T. Robust controller design for interval process systems, C.T. Chen, M.D. Wang // Computers and Chemical Engineering. – 1997. – Vol. 21. – P. 707-721.
4. Харитонов В.Л. Задача распределения корней характеристического полинома автономной системы / В.Л. Харитонов // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 5. – С. 53-57.
5. Necessary and sufficient conditions for the stability of a linear family of polynomials. A.P. Zhabko, V.L. Kharitonov // Automation and Remote Control. – 1994. – Vol. 55, № 10. – P. 1496-1503.
6. Гайворонский С.А. Определение реберного маршрута для анализа робастной секторной устойчивости интервального полинома // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2005. – № 5. – С. 11-15.
7. Петров Б.Н. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза / Б.Н. Петров, Н.И. Соколов, А.В. Липатов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 256с.
8. Алефельд, Г. Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987. – 356 с.
9. Вадутов, О.С. Определение границ областей локализации нулей и полюсов системы с интервальными параметрами / О.С. Вадутов, С.А. Гайворонский // Изв. Томского политех. ун-та. 2003. – Т.306. №1.– С.64-68.
10. Дядик В.Ф. Теория автоматического управления: учебное пособие/ В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.
11. Кондратов, В.Е. Matlab как система программирования научно-технических

расчетов: монография / В.Е. Кондратов, С.Б. Королев. – М.: Мир, 2002. – 350 с.

12. Поршнев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB / С.В. Поршнев. – М.: Горячая Линия–Телеком, 2003. – 592 с.
13. Солодкин, Г.И. Пакет прикладных программ исследования и синтеза динамических систем с переменными параметрами на основе использования корневых методов /Г.И. Солодкин. – Минск: Объединенный институт проблем информатики НАНБ, 2005. – 186 с.
14. Удерман Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматического управления / Э.Г. Удерман – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 112 с.
15. Филимонов, Н.Б. Системы многорежимного регулирования: концепция, принципы построения, проблемы синтеза / Н.Б. Филимонов // Известие вузов. Приборостроение. – 1988. – № 2. – С. 18-33.
16. Черных, И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И.В. Черных. – М.: Диалог–МИФИ, 2003. – 496 с.
17. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. –73 с.
18. Прейскурант цен на электронные компоненты и приборы магазина «Чип и Дип» [Электронный ресурс http://chipdip.ru] – Режим доступа: https://www.chipdip.ru/product/ – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 10.05.2019)
19. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
20. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера://под ред. Проф. В.Ф. Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284с.
21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и

нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы»

22. СНиП 23 – 05 – 95* «Естественное и искусственное освещение» (с изменением N 1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно – технической документации.
23. 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.
24. ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
25. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.
26. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.
27. 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.
28. В.М.Нагорный, Г.М.Федоров. Организация работы комиссии по чрезвычайным ситуациям объекта / Под ред. В.В. Шевченко. - [Электронный ресурс].